FORSCHUNGSBERICHTE DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN

Herausgegeben

im Auftrage des Ministerpräsidenten Heinz Kühn

vom Minister für Wissenschaft und Forschung Johannes Rau

Nr. 2423

Dr.-Ing. Hjalmar Kuntz

„Entwicklungstrends in Wissenschaft und Technik"
Interfakultative Forschungsgruppe
der Rhein.-Westf. Techn. Hochschule Aachen

Die Transportattraktivität als Planungsgröße

Ansatz zur quantitativen Attraktivitätsanalyse und -prognose, dargestellt am Beispiel des innerdeutschen Personenfernverkehrs



WESTDEUTSCHER VERLAG

FORSCHUNGSBERICHTE DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN

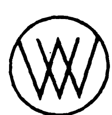
Nr. 2423

Herausgegeben im Auftrage des Ministerpräsidenten Heinz Kühn
vom Minister für Wissenschaft und Forschung Johannes Rau

Dr. -Ing. Hjalmar Kuntz
"Entwicklungstrends in Wissenschaft und Technik"
Interfakultative Forschungsgruppe
der Rhein. -Westf. Techn. Hochschule Aachen

Die Transportattraktivität als Planungsgröße

- Ansatz zur quantitativen Attraktivitätsanalyse und -prognose, dargestellt am Beispiel des innerdeutschen Personenfernverkehrs



Westdeutscher Verlag 1975

Teilbericht im Rahmen des Forschungsvorhabens "Wirtschaftliche, kulturelle und soziale Aspekte der Technik und der Ingenieurwissenschaften in ihrer Bedeutung für Staat und Gesellschaft".

Leitung des Gesamtprojekts im Auftrage des Senates der Rhein.-Westf. Techn. Hochschule Aachen: Prof. Dr.-Ing. Georg Menges, Institut für Kunststoffverarbeitung der RWTH Aachen.

Den Herren Prof. Dr.-Ing. A.W. Quick, Institut für Luft- und Raumfahrt der RWTH Aachen und Prof. Dr.-Ing. H. Nebelung, Verkehrswissenschaftliches Institut der RWTH Aachen sei für ihre Unterstützung bei der Durchführung dieser Untersuchung herzlichst gedankt.

Das Vorhaben wurde 1972 abgeschlossen.
Der Autor ist seit dem 1.6.1972 Referent der Stabsabteilung Forschung und Entwicklung der Fried. Krupp GmbH, Essen.

Gesamtherstellung: Westdeutscher Verlag

ISBN 978-3-531-02423-3 ISBN 978-3-322-88540-1 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-322-88540-1

Inhalt

Verzeichnis der Abbildungen

Nr.	Titel

Verzeichnis der Tafeln

Zusammenstellung der Bezeichnungen und Abkürzungen

a) Bezeichnungen:

$A_i, i = 1(1),m$	Transportattraktivität
B	Bestimmtheitsmaß
$b_j, j = 1(1),n$	Skalierungsfaktor (Nullpunktverschiebung der Nutzenfunktion $N_j^* = f(N_j)$
c_A	Auftriebsbeiwert
c_W	Widerstandsbeiwert
$E_j, j = 1(1),n$	Attraktivitätseigenschaft
G	Fluggewicht
G_k	Knotenpunktgewicht
G_s	Stufengewicht
$g_j, j = 1(1),n$	Gewichtungsfaktor (= G_s)
$k_j, j = 1(1),n$	Skalierungsfaktor (Steigung der linearen Nutzenfunktion $N_j^* = f(N_j)$)
$M_i, i = 1(1),m$	Verkehrsmittel-Alternative
N	Antriebsleistung
$N_j, j = 1(1),n$	Niveauhöhe der Attraktivitätseigenschaft (Zielertrag)
P	Preis
Q	Qualität
r	Korrelationskoeffizient
S	Schub
s	Hierarchiestufenindex des Zielsystems
t	Zeit
t_B	Blockzeit
t_o	Ist-Zeitpunkt
t_p	Prognosezeitpunkt
V	Verkehrsarbeit
v	Geschwindigkeit

v_R	Reisegeschwindigkeit
z = a(a),f	Reisezweckindex

b) Abkürzungen:

B	innerhalb der Behaglichkeitszone (Tafel 3)
CGN	Köln-Bonn
DB	Deutsche Bundesbahn
DLH	Deutsche Lufthansa AG
d	dienstlich motivierter Reisezweck
EB	Eisenbahn
FRA	Frankfurt
HAM	Hamburg
HSB	Hochleistungs-Schnellbahn
IATA	International Air Transport Association
ICAO	International Civil Aviation Organization
Muc	München
MW	Mittelwert der Prognose
nB	nicht in der Behaglichkeitszone (Tafel 3)
NYC	New York
opt	optimistischer Prognosewert
P	privat motivierter Reisezweck
pess	pessimistischer Prognosewert
Pkm	Personenkilometer
SST	Supersonic Transport
STOL	Short Take-Off and Landing
TAS	True Air Speed
Tkm	Tonnenkilometer
UIC	Union Internationale des Chemins de Fer Européens
VDA	Verband der Automobilindustrie
VTOL	Vertical Take-Off and Landing

1. Einleitung

Die Entwicklung von Ingenieurwissenschaften und Technik hat in ihrer Bedeutung für die menschliche Gesellschaft einen kritischen Punkt erreicht. Die Krise, die sich anbahnt bzw. die in einigen Bereichen des menschlichen Zusammenlebens schon zu einer ernsten Realität geworden ist, entsteht durch eine zunehmende Diskrepanz zwischen technischem und sozialem Fortschritt, hervorgerufen durch eine ungenügende Berücksichtigung der gesellschaftlichen Konsequenzen technischer Lösungen ([1] S. 17), d.h. durch zu isolierte Betrachtungsweisen und durch einen Mangel an zukunftsorientierter, interdisziplinärer Zusammenarbeit.

Genügte bisher zur günstigen Beurteilung einer technologischen Entwicklung in vielen Fällen eine positive Antwort auf die Fragen:

Ist diese Entwicklung wirtschaftlich, d.h. hier im Sinne einer rein finanziellen Betrachtung, ergiebig?

und:

Ist diese Entwicklung technisch realisierbar?,

so muß nun als Frage höchster Priorität hinzukommen:

Ist diese Entwicklung sozial wünschenswert?

In den Vordergrund der menschlichen Betrachtung rückt damit nicht der technische Fortschritt um seiner selbst Willen, d.h. unter Mißachtung möglicher (negativer) Sekundärwirkungen, sonder "die Sicherung und auch Steigerung der (menschlichen) Existenz" ([2] S. 15), die "Verbesserung der Vitalsituation" [3], die Anhebung der menschlichen Lebensqualität.

Da es in erster Linie der Ingenieur ist, der durch die Anwendung der Technik die menschlichen Lebensbedingungen prägt, erwachsen im Hinblick auf die obige Zielsetzung insbesondere diesem neue Aufgaben, zu deren Lösung neue Betrachtungsweisen und das Bewußtsein einer vergrößerten Verantwortung notwendig erscheinen. Die neue Betrachtungsweise erfordert die Einsicht, daß ein technisches System nur ein Untersystem des gesellschaftspolitischen Zielsystems darstellt, daß die Entwicklung des erstgenannten Systems zielkonform mit der angestrebten Entwicklung des letztgenannten ausgerichtet sein muß, wobei Interdependenzen mit weiteren Untersystemen zu beachten sind. Eine interdisziplinäre Zusammenarbeit sowohl zwischen den ingenieurwissenschaftlichen Disziplinen als auch zwischen diesen und den Wirtschafts- und Sozialwissenschaften wird somit zwingend, wobei allerdings insbesonders bei den letztgenannten die Fähigkeit und Bereitschaft zu quantitativen Aussagen vorausgesetzt werden muß.

Die im Hinblick auf die Lösung des vorgenannten Problems vergrößerte Verantwortung des Ingenieurs bedingt eine Abschätzung der

möglichen technischen Entwicklungstendenzen bzw. eine Prognose der zielrelevanten Einflußgrößen sowie die Auswahl und Förderung derjenigen Tendenzen, die mit den gesellschaftlichen Zielsetzungen am besten übereinstimmen. Die Bedeutung, die Hempel ([4] S. 333) dieser Art von Prognose beimißt, lautet in freier Übersetzung wie folgt: "Die Menschheit möchte nicht nur in dieser Welt überleben, sondern vielmehr ihre strategische Position in ihr verbessern. Dies macht es für sie bedeutungsvoll, gangbare Wege der Vorausschau des Wandels in ihrer Umwelt zu finden und, soweit möglich, letzteren zu ihrem Vorteil zu beeinflussen."

2. Problemstellung und schematische Darstellung des Lösungsweges

Die nähere Untersuchung eines in den eingangs beschriebenen Problemkreis eingebetteten Komplexes aus dem Bereich des Personenverkehrswesens sowie die Erarbeitung eines entsprechenden Lösungsansatzes sind Gegenstand der vorliegenden Untersuchung, in deren Mittelpunkt eine Attraktivitätsanalyse und -prognose steht, die beispielhaft für den Luftverkehr unter relativ grober Berücksichtigung der konkurrierenden Verkehrsmittel durchgeführt wird.

Die möglichst genaue Kenntnis der Attraktivität eines Verkehrsmittels, wie sie sich aus der Sicht des Kunden darstellt, ist ein wichtiger Schritt, die Nachfragestärke nach diesem Verkehrsmittel unter Berücksichtigung eventueller Substitutionseinflüsse zu errechnen, was wiederum eine entscheidende Voraussetzung zur richtigen Dimensionierung sowohl der Kapazität des Verkehrsmittels selbst als auch aller mit diesem in Zusammenhang stehender Verkehrsanlagen ist. Fehlentwicklungen infolge einer falsch einkalkulierten Attraktivität der entsprechenden Verkehrsmittel sind sowohl im Nahverkehrsbereich als auch Fernverkehr zu beobachten, wo z.B. häufig mangelhaft ausgelastete und mit entsprechendem Defizit operierende öffentliche Verkehrsmittel mit einem im Hinblick auf die Verkehrsanlagen kapazitiv überlasteten Individualverkehr konkurrieren.

Zur Ermittlung der Attraktivität eines Verkehrsmittels existieren theoretisch folgende drei Möglichkeiten:

a) die direkte Erfassung über eine Kundenbefragung,

b) eine Abschätzung aus der jeweiligen Nachfragestärke,

c) eine Berechnung auf der Basis einer Nutzwertanalyse aus der Sicht des Verkehrskunden.

Zu a): Die direkte Ermittlung der Attraktivität aus Meinungsumfragen - Abb. 1 zeigt das Ergebnis einer derartigen im Auftrage der Deutschen Lufthansa [5] durchgeführten Aktion - kann selbstverständlich von Nutzen für die Verkehrsgesellschaft selbst sein, da im vorliegenden Fall z.B. die große Diskrepanz in der Attraktivitätseinschätzung des Flugzeuges durch flugerfahrene und flugunerfahrene Kunden zum Ausdruck kommt, ein Mangel, den es durch gezielte Information zu beheben gilt - als Basis für eine Attraktivitätsanalyse und -prognose eignen sich derartige Umfragen nicht. Denn es fehlt eine exakte Angabe darüber, welche Gründe zu der vorliegenden Bewertung geführt haben, d.h. es

mangelt an einer Information darüber, welche Kriterien in welchem Umfang in die Bewertung eingegangen sind, so daß sich auch nicht abschätzen läßt, welche Attraktivitätsverschiebung die künftige Entwicklung dieser Kriterien bewirken wird.

Zu b): Verschiedene marktverzerrende Störfaktoren, auf die an anderer Stelle noch kurz eingegangen wird, verhindern es, in der Stärke der Nachfrage nach Verkehrsleistungen eines bestimmten Verkehrsmittels ein unmittelbares Spiegelbild von dessen Attraktivität zu sehen und somit von einer Wirkung auf deren Ursache schließen zu können. Im Hinblick auf eine Prognose wäre dieses Verfahren jedoch ohnehin unbrauchbar. Denn reine Nachfrage- bzw. Absatzprognosen durch Trendextrapolation oder die Unterstellung eines bestimmten vorgegebenen zeitlichen Entwicklungsverlaufes, durchgeführt ohne eine nähere Analyse der die Entwicklung bestimmenden Einflußgrößen, scheint nur für solche Güter oder Dienstleistungen vertretbar, für die auf absehbare Zeit keine Substitutionsmöglichkeit besteht, z.B. bei einigen ausgewählten Konsumgütern [6] oder aber auch bei Verkehrsleistungen im interkontinentalen Flugverkehr, wo das Schiff, wie Abb. 2 zeigt, längst keine echte Alternative zum Flugzeug mehr darstellt und somit eine Prognose gemäß Abb. 3 [7], die auf einer Trendextrapolation basiert, eine gewisse Berechtigung hat. Dort jedoch, wo Alternativen zu den jeweils betrachteten Gütern oder Dienstleistungen bestehen, bewirken Attraktivitätsverschiebungen Substitutionsvorgänge, so daß eine vergleichende Attraktivitätsanalyse und -prognose zu einer Voraussetzung für eine fundierte Nachfrageprognose wird.

Zu c): Eine rechnerische Abschätzung der Attraktivität auf der Basis einer Nutzwertanalyse und unter Berücksichtigung von Meinungsumfragen bei der Ermittlung der relevanten Attraktivitätskriterien sowie der benötigten Gewichtungs- und Skalierungsfaktoren scheint aus den dargelegten Gründen der einzig gangbare Weg zu sein, das vorliegende Problem zu lösen und eine brauchbare Basis für die Prognose von Attraktivitätsverschiebungen zu schaffen. Der schematische Lösungsweg ist in Abb. 4 dargestellt.

Die praktische Anwendung der im theoretischen Teil der vorliegenden Untersuchung erarbeiteten Methodik erfolgt am Beispiel von zwei Relationen, die zur Zeit bezüglich ihrer Streckenlänge die obere und die untere Grenze im planmäßigen innerdeutschen Luftverkehr bilden. Bedingt durch die Aufgabenstellung wird nur eine bestimmte Verkehrskundenschicht erfaßt, nämlich die der potentiellen Luftverkehrskunden. Entsprechend wurde die Auswahl der angebotenen Verkehrsmittelalternativen auf solche begrenzt, die eine Attraktivität aufweisen, die derjenigen des Flugzeugs in erster Näherung vergleichbar ist. Mit dem VSTOL-Flugzeug und einem spurgeführten Bodeneffektgerät nach Art des HSB- oder Transrapid-Projektes wurden auch zwei nicht-konventionelle Verkehrsmittel berücksichtigt, obwohl deren Einsatz bis zu dem auf das Jahr 1980 festgelegten Prognosezeitpunkt auch unter sehr optimistischen Annahmen kaum erwartet werden kann.

Die Untersuchung konzentriert sich auf privat oder dienstlich motivierte Kurzreisen, wie etwa Geschäfts- oder Dienstreisen, Besuchs- oder Einkaufsreisen. Urlaubsreisen werden mit dem zugrunde gelegten Bewertungsschema nicht erfaßt, ebenso scheiden aufgrund des gewählten Streckenbereichs die für den Orts- und Nahverkehr charakteristischen Reisezwecke wie: "regelmäßige Fahrt zur Arbeit", "täglicher Schulbesuch" usw. aus.

3. Problemanalyse

3.1 Der Verkehrsmarkt und seine Einflußfaktoren

Zur Abgrenzung der vorliegenden Themenstellung sowie zur Verdeutlichung des Einflusses, den die Transportattraktivität als später noch genau zu definierende Größe innerhalb der marktbestimmenden Faktoren einnimmt, wird der Verkehrsmarkt als Umschlagplatz von Personenverkehrsleistungen zunächst einer globalen Betrachtung unterzogen.

Unter der Voraussetzung einer rationalen Verhaltensweise auf der Basis einer ausreichenden Informiertheit, d.h. unter der Annahme, daß sie als "Wirtschaftssubjekte in der Lage und bereit sind, die Qualität der Verkehrsleistungen zu beurteilen" bzw. "Qualitätsvariationen in ihrer jeweiligen Kombination mit einer Quantitätsvariation in einem Präferenzfeld anzusiedeln" ([8] S. 109), werden sich Verkehrskunden im Bedarfsfall jeweils unter den ihnen zur Verfügung stehenden Alternativen die Verkehrsleistungen auswählen, die ihnen unter qualitativen und preislichen Gesichtspunkten für ihre jeweiligen Verkehrszwecke am geeignetsten erscheinen.

Gemäß dieser zweckorientierten Nachfrage läßt sich der Verkehrsmarkt in Teilmärkte aufteilen, die von den Reisezwecken:

a) Schule, b) Arbeitsplatz, c) Einkauf, d) Sonstiges,
e) Geschäft (Dienstreisen), f) Urlaub

bestimmt werden, wobei unter Sonstiges alle die Fahrtmotive verstanden sein sollen, die nicht von den übrigen fünf Zwecken erfaßt werden, also etwa Wochenendfahrten, Fahrten zu sportlichen und kulturellen Veranstaltungen usw. Darüber hinaus gliedert sich der Markt nach den Bereichen I) Orts-, II) Nah- und III) Fernverkehr, die sich in der Weise mit der Aufteilung nach Reisezwecken decken, daß die Bereiche I) und II) die Zwecke a) bis e) und der Bereich III) die Zwecke d) bis f) umfassen, so daß bei d) bis e) eine Überlappung entsteht.

Von der Angebotsseite kann auf diese Motive und auf die daraus resultierenden speziellen Attraktivitätsanforderungen, insbesondere bei den öffentlichen Verkehrsmitteln, oft nicht oder nur sehr bedingt eingegangen werden; diese Verkehrsmittel dienen meist gleichermaßen allen in ihrem Einsatzbereich anfallenden Reisezwecken, häufig ohne über die hierzu erforderliche Flexibilität zu verfügen, die der PKW in hervorragender Weise besitzt. Die Aufteilung der Verkehrsarbeit nach Verkehrsbereichen, Verkehrsmittelarten und Reisezweck zeigt Abb. 5.

3.1.1 Die marktverzerrenden Störfaktoren

Obwohl die Bedeutung von Preis und Qualität als der nachfragebestimmenden Faktoren klar erkennbar ist, erscheint es, wie bereits früher festgestellt, nahezu unmöglich, aus einer Analyse des Nachfrageverhaltens zu quantitativen Aussagen über die vom Kunden empfundene Qualität bzw. über die die preisliche Komponente mitberücksichtigende Attraktivität von Verkehrsmitteln zu kommen, da angebots- und nachfrageseitig in der Regel verschiedene Störfaktoren verzerrend auf den Verkehrsmarkt einwirken und eine allgemeine Übertragbarkeit der Untersuchungsergebnisse verhindern.

Aufgrund der regional unterschiedlich starken Ausprägung der nachfrageseitig für Qualität, Preis und Menge einer Verkehrsleistung verantwortlichen Einflußfaktoren - nach Voigt [9] sind dies:

a) die natürlichen Gegebenheiten des Raumes (z.B. klimatische Bedingungen mit Auswirkungen auf den Urlaubsverkehr, Wetterschwankungen als Auslösefaktoren von Substitutionsvorgängen zugunsten wetterunabhängiger Verkehrsmittel),

b) die Struktur der Bevölkerung (z.B. Altersstruktur, Bevölkerungsverteilung im Raum mit jeweils speziellen Auswirkungen auf die Verkehrsmittelwahl),

c) die wirtschaftlichen Faktoren (z.B. Verteilung von Bruttosozialprodukt und Einkommen, Lage der Produktionsstätten),

d) die institutionellen Faktoren (z.B. Raumordnungs- und Verkehrspolitik mit Maßnahmen zur Beeinflussung der Nachfragestruktur)

sowie der angebotsseitigen Bestimmungsgrößen, wie technisch-organisatorischer Entwicklungsstand der Verkehrsleistung, Tarifgestaltung, Netzdichte, Integrationsgrad der Verkehrssysteme untereinander usw. bestünde bei einer Attraktivitätsabschätzung auf der Basis einer Untersuchung der Nachfragestärke das Problem, aus der Analyse einer jeweils sehr speziellen Situation allgemeingültige Schlüsse ziehen zu müssen. Es ergäbe sich eine quantitativ kaum erklärbare Diskrepanz zwischen der im Grunde dem jeweiligen Verkehrsmittel "angeborenen" und der effektiv zum Tragen kommenden Attraktivität der entsprechenden Dienstleistung.

3.1.2 Die Transportattraktivität als nachfragebestimmende Einflußgröße

Unter dem Begriff Transportattraktivität, die im Vordergrund der vorliegenden Untersuchung steht, soll die Gesamtheit von Eigenschaften verstanden werden, die die Brauchbarkeit einer Verkehrsleistung bzw. eines Verkehrsmittels für bestimmte Zwecke ausmachen [10]. Die Transportattraktivität umfaßt damit neben der in herkömmlicher Definition technische und technisch-organisatorische Merkmale, wie Sicherheit, Schnelligkeit, Bequemlichkeit einschließender Transportqualität auch den Transportpreis in Form eines "eigenständigen" Kriteriums Billigkeit, wobei allerdings von einer bedingten Eigenständigkeit, d.h. von einer vernachlässigbar geringen Interdependenz zwischen dem Preis und den übrigen Kriterien nur innerhalb bestimmter, später noch zu präzisierender Intervalle gesprochen werden kann.

Die Transportattraktivität entspricht damit aus der Sicht des Verkehrskunden dem Nutzwert, der nach Gabler ([11] S. 442) wie folgt definiert ist: "Der Nutzwert ist der subjektive, durch die Tauglichkeit zur Bedürfnisbefriedigung bestimmte Wert eines Gutes."

Den durch die Subjektivierung des Attraktivitätsbegriffs entstehenden Schwierigkeiten kann durch eine Analyse des Massenverhaltens der Verkehrskunden entgangen werden, wie es bei der Auswertung statistischer Erhebungen über die Einschätzung gewisser Eigenschaften von Verkehrsmitteln zum Ausdruck kommt.

Unter den dem Verkehrskunden für einen bestimmten Reisezweck zur Verfügung stehenden Verkehrsmitteln fällt dieser dann seine Entscheidung zugunsten desjenigen, bei dem der höchste Grad an Affinität zwischen der angebotenen und gewünschten Attraktivität besteht, bzw. bei dem die gewichtete Differenz zwischen angebotenem und nachgefragten Attraktivitätsprofil minimal ist. Unter dem Begriff Attraktivitätsprofil sei eine Darstellung verstanden, bei der auf der Abszisse entsprechend der Struktur der Attraktivität die Eigenschaften E_{1-n} aufgetragen sind, während auf der Ordinate die Niveauhöhen N_{1-n} dieser Attraktivitätseigenschaften ablesbar sind, nachdem diese zuvor in ein einheitliches Wertsystem transformiert worden sind. Letzteres ist weitgehend subjektiv bestimmt und hängt u.a. entscheidend von der finanziellen Situation des Entscheidungsträgers ab.

3.2 Die Notwendigkeit einer Attraktivitätsprognose und ihre Einordnung in den Planungsprozeß

Obwohl auch "kein westlicher Staat ein rein marktwirtschaftlich organisiertes Verkehrswesen kennt" ([12] S. 19), besteht doch weitverbreitete Einigkeit darin, daß der Verkehrsmarkt von dirigistischen Eingriffen weitgehend verschont, einem möglichst freien Wechselspiel von Angebot und Nachfrage überlassen bleiben sollte. Ein Blick auf den Verkehrsmarkt läßt erkennen, daß dieses Wechselspiel noch erheblich gestört ist, denn "in vielen Staaten harren wichtige verkehrswirtschaftliche Fragen ihrer Lösung; nirgends ist die Verkehrswirtschaft in einem Gleichgewicht; nirgends ist die relative Minimalisierung des volkswirtschaftlichen Aufwandes für Transportzwecke erreicht; in vielen Staaten schließen Staatsbahnen mit erheblichen Defiziten ab" ([12] S. 19). Dieser Situationsbericht aus dem Jahre 1961 bedarf auch heute noch keiner wesentlichen Korrektur. Eine Verkehrsplanung, die derartige Diskrepanzen unter Beibehaltung möglichst weitgehender marktwirtschaftlicher Ordnungsprinzipien in Zukunft verhindern will, setzt die Möglichkeit, die Mittel und den Willen voraus, sowohl die reisezweckorientierte Anforderungsstruktur der Nachfrageseite möglichst genau zu analysieren, als auch die nachfragebestimmende Transportattraktivität als multidimensionale Zielgröße quantitativ zu prognostizieren und somit dafür zu sorgen, daß eine möglichst weitgehende Harmonie zwischen der Anwendung technischer Möglichkeiten auf der Angebotsseite und den berechtigten Wünschen auf der Verbraucherseite entstehen kann.

Denn hoher Kapitalaufwand und - teilweise hieraus resultierend - extreme Langfristigkeit, sowohl vom Zeitpunkt der Planung bis zur Realisierung als auch vom Augenblick der Realisierung bis zu demjenigen der Ablösung durch eine Nachfolgeentwicklung, sind charakteristisch für den technischen Wandel im Bereich des Verkehrswesens. Sowohl die Höhe als auch die langfristigen Auswirkungen dieser Investitionen erfordern eine intensive Planung mit dem Ziel, zu einer verkehrstechnischen Konzeption zu kommen, die über weite Zeiträume hin den Bedürfnissen der Gesellschaft quantitativ und qualitativ angepaßt ist, bzw. die so flexibel ist, daß sie mit vertretbarem Kostenaufwand jederzeit angepaßt werden kann [13]. Unterteilt man nach Mäcke [14] den Ablauf der Verkehrsplanung in folgende drei Stufen

a) Verkehrsdiagnose,
b) Verkehrsprognose,
c) Verkehrstherapie,

so geht es bei der vorliegenden Aufgabenstellung darum, durch einen methodischen Beitrag zur Verbesserung der Planungsstufen Verkehrsdiagnose und Verkehrsprognose eine möglichst sichere Basis für die abschließende, besonders kapitalintensive Verkehrstherapie schaffen und damit das Risiko von Fehlplanungen vermindern zu helfen.

4. Methodische Vorgehensweise

4.1 Vorbemerkung

Wie bereits aus Abb. 4 hervorging, ergibt sich die jeweils zur Anwendung kommende methodische Vorgehensweise einerseits aus der zu lösenden Problemstellung, stellt jedoch andererseits einen Kompromiß unter Berücksichtigung des zur Verfügung stehenden Datenmaterials sowie des vertretbaren zeitlichen und finanziellen Aufwandes dar mit entsprechenden Rückwirkungen auf den Aussagewert des Ergebnisses. In Anbetracht dieser Randbedingungen ist ein Verfahren zu wählen, das sowohl auf der Basis der vorgegebenen Möglichkeiten verwendbare Resultate liefert, das aber andererseits alle Voraussetzungen erfüllt, durch methodische Detailverbesserungen und verfeinertes Datenmaterial den Aussagewert dieser Resultate kontinuierlich zu steigern.

Die zur Anwendung kommende Vorgehensweise bei der Problemanalyse wurde aufbauend auf Arbeiten von Klatt [8] und Zangemeister [15, 16] entwickelt. Sie entspricht in ihren wesentlichen Schritten der Erstellung einer Nutzwertanalyse (aus der Sicht des Verkehrskunden), die nach Zangemeister ([17] S. 11) wie folgt definiert ist:

"Analyse einer Menge komplexer Handlungsalternativen (hier: reisezweckorientierte Auswahl eines Verkehrsmittels M_i unter den Alternativen M_{1-n}) mit dem Ziel, die Elemente dieser Menge (hier: alternativ benutzbare Verkehrsmittel) entsprechend den Präferenzen des Entscheidungsträgers (hier: der Verkehrskunden) bezüglich eines multidimensionalen Zielsystems (hier: bezüglich der Transportattraktivität) zu ordnen."

Zur Prognose der die Attraktivität bestimmenden Faktoren wurden nach Problemlage verschiedene mathematisch-statistische Verfahren, wie Modellprognose, Regressionsanalyse, Trendextrapolation, gegebenenfalls unter Berücksichtigung von Expertenaussagen, herangezogen. Abb. 6 zeigt den gesamten Lösungsablauf, dessen Einzelschritte in den folgenden Abschnitten erläutert werden.

4.2 Entwicklung des Zielrahmens und des Zielprogramms

Der Zielrahmen umfaßt als Handlungsgrundlage alle jene strategischen Ziele, auf die die mit Hilfe einer Nutzwertanalyse angestrebte Nutzenmaximierung durch den Entscheidungsträger ausgerichtet ist.

Das Verkehrsbedürfnis ist nach Partzsch (berichtet in [3]) ein Grundbedürfnis des Menschen, d.h. es berührt teils als Selbstzweck (z.B. bei Ausflugsfahrten), teils zur Unterstützung der übrigen Daseinsgrundfunktionen, wie Ausbildung/Bildung, Arbeit, Versorgung usw. das strategische "Endziel" des Menschen, das mit

"Verbesserung der Lebenssituation" durch Steigerung von Freiheit, Sicherheit, Bildung und Wohlstand charakterisiert werden kann. Der Zielrahmen wird begrenzt durch die gesellschaftspolitische Umwelt sowie durch den Stand der Technik und der wirtschaftlichen Möglichkeiten. Während sich der Kunde bei der im Hinblick auf eine Nutzenmaximierung aus seiner Sicht erfolgenden Auswahl seines Verkehrsmittels unter den angebotenen Alternativen ausschließlich an seinem eigenen Zielrahmen orientieren wird, sind bei der Erstellung neuer Verkehrssysteme dagegen die Zielvorstellungen weiterer Gruppen neben derjenigen des Verbrauchers zu berücksichtigen. Nach Phillips ([17] S. 21) sind dies Staat und Gesellschaft sowie die Funktionsträger (Abb. 7) innerhalb des Verkehrssystems, deren Nutzenerwartungen gemeinsam mit denjenigen der Verkehrskunden zu koordinieren sind. In wirtschaftlicher Hinsicht wäre dies z.B. eine Koordination der volkswirtschaftlichen Interessen der Regierung mit den betriebswirtschaftlichen der Verkehrsunternehmen und den betriebs- oder privatwirtschaftlichen der Abnehmer von Verkehrsleistungen.

Maßgebend für die durch den Verkehrskunden erfolgende Verkehrsmittelauswahl unter den zu einem gegebenen Zeitpunkt zur Verfügung stehenden Verkehrsmitteln ist jedoch dessen eigene Zielvorstellung, die damit in den Vordergrund der vorliegenden Betrachtung rückt.

Das Zielprogramm enthält in Form von Unterzielen Einzelmaßnahmen, die zur Verwirklichung der im Zielrahmen angegebenen strategischen Zielsetzung erforderlich sind. Im vorliegenden Fall handelt es sich um die Optimierung der Transportattraktivität als der verkehrlichen Komponente der Daseinsgrundfunktionen im Partzschen Sinne, die mit

Ausbildung/Bildung
Arbeit
Versorgung
Erholung
Kommunikation

umfassend dargestellt erscheinen. Die weitere hierarchische Aufgliederung des Zielprogrammes führt gemäß Abb. 8, Tafel 1a und 1b, dann in Abhängigkeit von den durch die genannten Grundfunktionen bestimmten Reisezwecken zu einem Katalog von weitgehend quantitativ erfaßbaren und mit gewissen Vorbehalten prognostizierbaren Attraktivitätskriterien, auf die in den folgenden Abschnitten näher eingegangen wird.

4.3 Aufstellung eines zielrelevanten Kriterienkataloges

Die weitere Spezifizierung der in Übereinstimmung mit dem vorgegebenen Zielprogramm zu ermittelnden Transportattraktivität führt zu einem zielrelevanten Kriterienkatalog, dessen Vollständigkeit mit Hilfe von Meinungsumfragen, z.B. [18], überprüfbar ist und der sich, falls diese Begriffe weit genug gefaßt sind, auf die Attraktivitätseigenschaften Sicherheit, Schnelligkeit, Bequemlichkeit und Billigkeit reduzieren läßt. Jedes dieser Kriterien stellt dabei wiederum das Oberziel einer hierarchischen Struktur von Unterzielen dar, die mit ersterem in einer Mittel-Zweck-Beziehung stehen und mit zunehmender Stufenzahl einen wachsenden Konkretisierungsgrad aufweisen. Die Kriterien der untersten Stufe, die unter Berücksichtigung einiger noch durchzuführender Vereinfachungen den Spaltenkopf der später definierten

Zielertragsmatrix bilden, müssen im Hinblick auf die angestrebte quantitative Prognose zahlenmäßig, d.h. in Dimensionen, Prozentsätzen oder Punkten meßbar sein. Abb. 9 zeigt in Übereinstimmung mit Tafel 1a und 1b die Auflösung der Transportattraktivität in Form einer vierstufigen Zielhierarchie, die auf der untersten Stufe 25 quantitativ erfaßbare Attraktivitätskriterien aufweist.

4.3.1 Sicherheitskriterien

Zur Quantifizierung des Merkmales Sicherheit existieren folgende Maßeinheiten: Zahl der Verkehrstoten, der Verletzten, der Unfälle mit Personenschäden, der Höhe des Sachschadens, jeweils nach Verkehrsmittelarten bezogen auf ein Kalenderjahr, die in diesem Zeitraum erbrachte Verkehrsleistung, die durchgeführten Betriebsstunden oder die zurückgelegten Verkehrsmittel-Reisestrecken, wobei zu unterscheiden ist, ob sich diese Zahlen lediglich auf die Insassen dieser Verkehrsmittel beziehen, oder ob auch Außenstehende mitberücksichtigt wurden, die durch die Einwirkung eines Verkehrsmittels zu Schaden kamen.

Eine besonders objektive Aussage über die Sicherheit eines Verkehrsmittels aus der Sicht der Verkehrskunden dürfte die Zahl der jährlich innerhalb dieses Verkehrsmittels Getöteten und Verletzten, bezogen auf die in dem gleichen Zeitraum erbrachte Verkehrsleistung, ermöglichen. Diese Zahl, die sich an Hand von Unfallstatistiken für die betrachteten Verkehrsmittel weitgehend ermitteln bzw. auf Umwegen errechnen läßt, wurde der weiteren Untersuchung zugrunde gelegt, wobei darüber hinaus speziell bei der Betrachtung des Luftverkehrs auch die Entwicklung anderer Sicherheits-Kenngrößen abgeschätzt wurde.

Im Hinblick darauf jedoch, daß das Todes- und Verletzungsrisiko allein nur ein begrenztes Bild der Verkehrssicherheit aus der Kundensicht ergeben, wären bei einer verfeinerten Sicherheitsbetrachtung darüber hinaus alle Risiken, gemessen als statistisch ermittelte relative Häufigkeit ihres Auftretens, zu berücksichtigen, die die Abneigung vor einem Verkehrsmittel in ihrer Gesamtheit ausmachen, also z.B. das Risiko der Belästigung, der Entführung, des Gepäckdiebstahls und anderer Sachwertverluste, der Umsteigeunsicherheit, des Übelseins usw., ein Komplex, über den brauchbare Zahlenunterlagen weitgehend fehlen.

Ebenso erlaubt es das zur Verfügung stehende Datenmaterial nicht, das Kriterium Sicherheit in einen dem Verkehrsmittel und einen den Verkehrsanlagen zuzuordnenden Anteil aufzuspalten, was ohnehin auf generelle Schwierigkeiten stößt, da zwischen beiden Anteilen kaum zu eliminierende Interdependenzen bestehen.

Eine verfeinerte Betrachtung der Verkehrssicherheit erfordert sicherlich auch eine unterschiedliche Gewichtung des Todes- und Verletzungsrisikos, das mit den betrachteten Verkehrsmitteln verbunden ist. Allerdings existieren zur Zeit keinerlei Anhaltspunkte für die quantitative Abschätzung dieser Gewichtungsfaktoren.

4.3.2 Schnelligkeitskriterien

Maß für die Schnelligkeit ist bei vorgegebener Streckenlänge die Reisezeit, deren Einflußgrößen in Tafel 2 zusammengestellt sind. Die Summe der zeitlichen Einflüsse E_{1-8}, abzüglich der im

Verkehrsmittel möglichen Zeitersparnis E_9 für Tätigkeiten wie Essen, Schlafen, Arbeiten, die unabhängig von der jeweils betrachteten Reise angefallen wären, ergibt die Reisezeit Haus-Haus, die darüber hinaus durch die Einführung eines Zeitwertfaktors nach Scharlach [19, 20] gewichtet ist.

Diesen Zeitwertfaktor erhält man für eine Geschäfts- oder Dienstreise aus Abb. 10, in der tägliche Stundengruppen gemäß ihrer Bedeutung für private oder dienstliche Zwecke bewertet worden sind, so daß sich z.B. eine private Kernzone, die von 23^{00} bis 6^{00} reicht, und eine berufliche Kernzone von 10^{00} bis 17^{00} ergeben. Entsprechende Zeitwertprofile lassen sich auch für alle übrigen Reisezwecke aufstellen. Die Differenz zwischen der entsprechend dem jeweiligen Zeitwertfaktor gewichteten Gesamtreisezeit und der effektiven Reisezeit ergibt den relativen Zeitverlust infolge ungünstiger Fahrgelegenheit.

Ebenfalls infolge ungünstiger Fahrgelegenheit entsteht eine Wartezeit in allen den Fällen, wo die für den Reisenden erforderliche Abfahrts- bzw. Ankunftszeit zwischen zwei aufeinander folgenden Reisegelegenheiten liegt. Im Mittel trägt diese Wartezeit die Hälfte der Zug- oder Flugfolgezeiten, die zweckmäßigerweise wiederum für die von Scharlach angegebenen Stundengruppen gemittelt werden, bzw. für eine andere Zeiteinteilung, falls dies für einen anderen Reisezweck sinnvoller ist.

Unter Zubringerzeit soll auch die Zeit verstanden werden, die im PKW- und Busfernverkehr erforderlich ist, um den Ortskern zu verlassen und die nächste Autobahn oder Fernstraße zu erreichen. Im Nahverkehr dagegen ist unter Zubringerzeit die Zeit gemeint, die benötigt wird, um das für die Hauptstrecke zu benutzende Verkehrsmittel zu erreichen. Die Reisezeit von/bis Flughafen, Bahnhof, Stadtrandzone berechnet sich dann aus den im Fernverkehr erreichbaren Durchschnittsgeschwindigkeiten. Dabei ist jeweils der Reisezweck zu berücksichtigen, da die Gesamtreisezeit wesentlich von der Tatsache abhängt, ob die Reise oder Fahrt zu Verkehrsspitzenzeiten (Fahrt zur Schule, zum Arbeitsplatz) stattfinden muß oder nicht (Fahrt zum Einkauf, zur Erholung). Bei der Ermittlung der Einflußgröße Pünktlichkeit/Berechenbarkeit, die im wesentlichen durch Wetter und allgemeine Verkehrslage bestimmt wird, ist man insbesondere im Bereich des Straßenverkehrs weitgehend auf Schätzungen angewiesen.

4.3.3 Bequemlichkeitskriterien

Bei dem Merkmal Bequemlichkeit/Komfort handelt es sich um ein besonders komplexes, in seiner Bewertung stark subjektiven Empfindungen ausgesetztes Kriterium, das dennoch über eine entsprechend starke Auffächerung in seinen Einflußgrößen weitgehend quantitativ erfaßbar wird. Während hierzu bei ästhetisch bestimmten Merkmalen wie Ausstattungsniveau von Verkehrsmitteln und Verkehrsanlagen und bei Kriterien, die sich auf den Service, die Abwechslungsmöglichkeiten u.ä. beziehen, zur Schätzung auf eine Punkt-Skala ausgewichen werden muß, existieren für die übrigen, die physiologische Behaglichkeit beeinflussenden Umweltfaktoren wie Klima-, Erschütterungs-, Licht- und Lärmeinflüsse physikalische Maßeinheiten, die für diese Kriterien den objektiven Nachweis ermöglichen, ob die entsprechenden Werte in einem Bereich liegen, der vom Menschen als angenehm empfunden wird und der als physiologische Behaglichkeitszone in Tafel 3 dargestellt ist. Diese Zusammenstellung erfolgte auf der Basis von Zahlenangaben von McFarland [21], die durch weitere Informationen aus

dem Bereich der Arbeitswissenschaften [22] ergänzt wurden. Die Tafel gibt nur relativ grobe Richtwerte an. Die übrigen raumspezifischen Bequemlichkeitseinflüsse wie Sitzplatzverhältnis, Bewegungsfläche und Gepäckraum je Person sind ebenfalls eindeutig erfaßbar.

4.3.4 Wirtschaftlichkeitskriterien

Bei einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung aus der Sicht des Verkehrskunden sind der Beförderungspreis bei öffentlichen bzw. die Beförderungskosten bei privaten Verkehrsmitteln, jeweils bezogen auf das jährlich verfügbare Einkommen des Nachfragers, die maßgeblichen Einflußgrößen. Problematisch ist die Frage, ob bei den für den privaten PKW anfallenden Kosten auch die laufenden Abschreibungskosten berücksichtigt werden sollten, da häufig dessen Anschaffung als modernes Statussymbol weitgehend unabhängig von jeweils unternommenen Fahrten gesehen werden kann und auch bei der Festlegung der Kilometerpauschale durch die Steuerbehörde ein derartiger Kostenanteil nicht berücksichtigt wurde.

Aus den genannten Gründen erscheint es zweckmäßig, auf die Berücksichtigung von Abschreibungskosten bei einer Nutzwertbetrachtung aus Kundensicht zu verzichten, da diese Vorgehensweise vermutlich am besten mit der Einstellung der Verkehrskunden übereinstimmt, obwohl bei objektiver Betrachtung des Problems Abschreibung und Verzinsung effektive Kostenanteile darstellen.

4.3.5 Das Problem der Kriterien-Interdependenz

Eine bei allen multidimensionalen Bewertungsverfahren zu stellende Grundforderung ist diejenige nach Eliminierung bzw. nach Minimierung aller zwischen den Zielkriterien bestehenden Interdependenzen (z.B. Pardee ([17] S. 9)), so daß angenommen werden kann, daß die Zielerträge aller Kriterien in erster Näherung unabhängig voneinander einen Beitrag zur Transportattraktivität leisten, einen Wertbeitrag also, der in seiner Größe nicht oder nur mäßig abhängt von der Ausprägung oder Konstellation der übrigen Kriterien.

"Die Annahme vollkommener Nutzenunabhängigkeit der Kriterien bei einer multidimensionalen Bewertung von Alternativen" dürfte allerdings nach Zangemeister ([15] S. 78) "eine irrationale Hypothese" darstellen, da, um überhaupt von einem Nutzwert bzw. einer Transportattraktivität sprechen zu können, bestimmte Mindest-Zielerträge aller relevanten Kriterien vorhanden sein müssen. Diese Mindestanforderungen können für alle in der vorliegenden Untersuchung berücksichtigten Verkehrsmittel als erfüllt betrachtet werden, so daß für die Abschätzung der weiteren Attraktivitätsentwicklung innerhalb des Prognosezeitraumes die geforderte bedingte Nutzenunabhängigkeit der Kriterien angenommen werden kann, sofern es gelingt, die generell anzunehmende Preis-Qualitäts-Abhängigkeit zu minimieren. Diese gegenseitige ökonomische Interdependenz wird jedoch erst dann wesentlich, wenn gewisse Schwellenwerte [23] überschritten werden; nach Klatt [8] ist die Änderung einer Eigenschaft erst dann zu erwarten, wenn größere Änderungen an der (bzw. den) anderen Eigenschaft(en) vorgenommen werden, so daß der Zusammenhang zwischen den Variablen in Form von Reaktionsbändern darstellbar ist.

Durch die bereits an früherer Stelle erwähnte gleichzeitige Berücksichtigung des dem Kunden verfügbaren Einkommens bei der

Fixierung des Merkmales Billigkeit sowie die Festlegung eines vertretbaren Bereiches für das Verhältnis Verkehrsausgaben/verfügbares Einkommen werden in Übereinstimmung mit der Realität finanziell unterschiedlich starken Nachfragegruppen preislich differierende Verkehrsmittelgruppen zugeordnet, innerhalb derer eine bedingte Nutzenunabhängigkeit zwischen dem Verkehrspreis und den übrigen Attraktivitätskriterien angenommen werden kann.

4.4 Ermittlung der zur Verfügung stehenden Verkehrsmittel-Alternativen

4.4.1 Vorbemerkung

Als nächster Schritt der Untersuchung sind nun die im Hinblick auf die Erfüllung der im Zielprogramm angegebenen Zielsetzung zur Verfügung stehenden Verkehrsmittelalternativen zu erfassen. Hierbei werden berücksichtigt

a) Verkehrsmittel, die sich bereits im Einsatz befinden,

b) Verkehrsmittel, die sich im Stadium der Voruntersuchung, der Entwicklung oder Fertigung befinden.

Die Anzahl der Alternativen wird weiterhin eingeschränkt durch die Forderungen, daß es sich um

c) effektive oder potentielle Konkurrenten des Flugzeugs und um

d) Alternativen, deren Einsatz innerhalb des Prognosezeitraumes mit gewisser Wahrscheinlichkeit erwartet werden kann,

handeln soll.

Von den vorhandenen, in ferner Zukunft möglicherweise einmal durch den Weltraum Abb. 11 [24] zu ergänzenden Medien Erde (Straße, Schiene), Luft und Wasser wird letzteres mangels ausreichender Bedeutung für die vorliegende Problemstellung ausgeklammert, ebenso bleibt der Nachrichtenverkehr mit seinen eventuell später einmal zu erwartenden Rückwirkungen auf den Personenverkehr unberücksichtigt.

Als Alternativen im hier angesprochenen Sinne gelten nur Verkehrsmittel, die sich innerhalb der dem Straßen-, Schienen- und Luftverkehr zugeordneten Verkehrsmittelarten durch wesentliche Unterschiede in der technischen Konzeption auszeichnen, wobei sich diese Unterschiede insbesondere auf Antriebsart, Verkehrsmittelstützung sowie Steuerung und Führung konzentrieren. Die unterschiedliche Ausbildung dieser Komponenten zeigt Abb. 12 für die konkurrierenden Verkehrsmittelarten, wobei diese einer überschlägigen morphologischen Analyse [25] entsprechende Darstellung erste Anhaltspunkte für die Abschätzung des weiteren verkehrstechnischen Entwicklungsverlaufs liefern kann.

Eine in Abb. 13 gegebene Übersicht zeigt für das gesamte Personenverkehrssystem 16 Verkehrsmittel-Alternativen, die sich bereits im Einsatz befinden bzw. deren Anwendungsmöglichkeit zur Zeit erforscht wird. Es handelt sich um Orts-, Nah- und Fernverkehrsmittel, wobei die Grenzen der Verkehrsbereiche fließend sind und im Grunde für jedes Verkehrsmittel neu zu definieren wären, da sich die Bezeichnungen Orts-, Nah- und Fernverkehr

nach Pirath weniger auf einen geographischen als vielmehr auf einen von der jeweiligen Verkehrsmittelgeschwindigkeit abhängigen zeitlichen Entfernungsbereich beziehen ([26] S. 48). +)

Versucht man jedoch, wie in Abb. 13 geschehen, für alle Verkehrsmittel eine gemeinsam gültige Bereichsaufteilung zugrunde zu legen, die hier wie folgt fixiert ist:

Ortsverkehr bis 20 km Reiseentfernung
Nahverkehr bis 300 km Reiseentfernung
Fernverkehr über 300 km Reiseentfernung

dann liegt der Aktionsbereich des Flugzeuges im oberen Nahverkehrs- und im gesamten Fernverkehrsbereich, wobei eine untere, bei ca. 100 km angenommene Grenze auch nach Auffassung von Experten der Luftfahrtindustrie ([27] S. 13) und des Luftverkehrs ([28] S. 62) eher zu niedrig gewählt ist.

Oberhalb einer Reiseentfernung von 3000 km, also im typischen Flugzeug-Langstrecken-Bereich, erübrigt sich eine vergleichende Attraktivitätsanalyse und -prognose, da das Flugzeug hier, wie an Abb. 2 ersichtlich, ohne nennenswerte Konkurrenz ist und auch in absehbarer Zukunft bleiben wird.

Entsprechend der eingangs gemachten Einschränkung c) entfallen damit infolge keiner oder verschwindend geringer Bedeutung als Konkurrenten des Flugzeugs in Abb. 13 die Alternativen:

M_3, M_4, M_5, M_8, M_9, M_{11}, M_{12}.

Die Erfüllung der Einschränkung d) erfordert eine Abschätzung der Realisierungschancen neuartiger Verkehrsmittel bzw. Verkehrssysteme, die jedoch aufgrund der Zähflüssigkeit, mit der sich der technische Wandel innerhalb des Verkehrswesens vollzieht, kurz- und mittelfristig mit ausreichender Sicherheit möglich ist. Die Gründe dafür, daß entscheidende technische Neuerungen, etwa in Form völlig neuartiger Verkehrssysteme, nur sehr langsam in den Verkehrsmarkt eindringen können, sind folgende:

1. die Höhe der finanziellen Mittel, die in Verkehrsmittelpark und Infrastruktur der "klassischen Verkehrssysteme" gebunden sind,

2. die Höhe der zur Realisierung eines neuen Verkehrssystems erforderlichen finanziellen Mittel,

3. die Dauer des technischen Reifeprozesses eines sehr komplexen Systems von der Projektstudie bis zur einsatzfähigen Ausführung,

4. Die Probleme der internationalen Verkehrskoordinierung.

+) Bei der Erstellung des Generalverkehrsplanes NRW wurde der Nahverkehrsbereich als Fläche definiert, deren längste Wegstrecken sich vom Ausgangspunkt in 60 min zurücklegen lassen. Jeder andere Verkehr wird zum Fernverkehrsbereich gerechnet.

Als Basis für die Abschätzung der Einsatzwahrscheinlichkeit neuartiger Verkehrssysteme innerhalb des Prognosezeitraumes können Aktivitäten und Äußerungen der entscheidenden Funktionsträger innerhalb des Verkehrssystems dienen, weitere Möglichkeiten bestehen in den intuitiven Prognoseverfahren und hierbei insbesondere in der systematischen, in mehreren Stufen erfolgenden individuellen Befragung einer Expertengruppe nach der Delphi-Methode [29] , die als Ergebnis zu einer relativen Häufigkeitsverteilung für die Benennung von Zeitpunkten führt, die das Expertenteam der Realisierung eines Ereignisses innerhalb einer Zeitspanne zuordnet. Abb. 14 zeigt als Resultat einer in den USA [30] durchgeführten Prognose nach der Delphi-Methode die von einer Expertengruppe geschätzten Realisationschancen für den praktischen Einsatz neuartiger Verkehrsmittel. Diese und weitere intuitive Expertenprognosen werden die Grundlage für die Abgrenzung der innerhalb des Prognosezeitraumes zur Verfügung stehenden nicht-konventionellen Verkehrsmittel bilden, während zur Abschätzung des weiteren Entwicklungsverlaufs der konventionellen Verkehrsmittel wenigstens teilweise auf mathematisch-statistische Prognoseverfahren zurückgegriffen werden kann.

4.4.2 Luftverkehrsmittel

Eine Gliederung der Luftverkehrsmittel nach Verkehrsmittelarten und -komponenten ist in Abb. 15 dargestellt. Eine weitere Komponentenzerlegung nach dem Relevanzbaumverfahren wurde beispielhaft in Abb. 16 [31] durchgeführt. Die Entwicklung dieser Komponenten, die, wie die unterste Hierarchie-Stufe von Abb. 16 zeigt, Gegenstand der Grundlagen- und der Angewandten Forschung ist, ergibt in ihrer Gesamtheit die zu prognostizierende Veränderung der Zielerträge, wobei allerdings in der vorliegenden Untersuchung lediglich Abschätzungen auf den oberen Hierarchiestufen möglich sind.

Die Familie der Luftverkehrsmittel wurde unterteilt in Drehflügler, Starrflügler und nichtspurgebundene Luftkissen-Fahrzeuge. Infolge ihrer Bedeutungslosigkeit für das Verkehrsgeschehen der kommenden Jahre blieben Luftschiffe unberücksichtigt, obwohl die Diskussion um deren Verkehrseinsatz auch in neuerer Zeit gelegentlich wieder auflebt [32, 33] .

Wichtigstes Luftverkehrsmittel wird für den Prognosezeitraum der CTOL+) -Starrflügler sein, dessen derzeitigen technischen Stand die in Tafel 4 zusammengestellten Daten repräsentieren.

Der wirtschaftliche Einsatzbereich konventioneller Starrflügler liegt bei Flugstrecken von mehr als 400 km Länge ([34] S. 153). Einsatzschwerpunkt bildet der Geschäftsverkehr mit rd. 95 % der auf den nationalen Strecken erbrachten Verkehrsleistungen [35] und der Flugtourismus, dessen Anteil am gesamten Luftverkehr je nach Jahreszeit und Region 60 bis 80 %, ([28] S. 227) ausmacht und der den einzigen Bereich darstellt, in dem dem Flugzeug in Europa bisher der Durchbruch als Massenverkehrsmittel gelungen ist.

+) CTOL = Conventional Take-Off and Landing

Das Bild der siebziger Jahre wird weitgehend von den Typen bestimmt werden, deren Kenndaten in Tafel 5 zusammengestellt sind. Seitens der Deutschen Lufthansa liegen inzwischen Bestellungen über 4 Langstrecken-Großraum-Flugzeuge McDonnel-Douglas DC-10-30 sowie 3 Optionen über das Langstrecken-SST+)-Flugzeug BAC-Sud Aviation Concorde vor.

Ähnlich wie dies in den sechziger Jahren z.B. bei den Serien der Typen Boeing 707 und McDonnell DC-8 der Fall war, sind auch bei den Projekten der siebziger Jahre Modifikationen der genannten Grundtypen zu erwarten, wobei von dem geplanten europäischen Airbus bereits die Versionen A 300 B 1, A 300 B 3, A 300 B 7, vom Typ DC-10 die Versionen DC-10-10 und DC-10-30 bekannt wurden, die sich jeweils in Nutzlast und Reichweite unterscheiden.

Ferner besteht die Möglichkeit, daß die innerhalb des Prognosezeitraumes eingesetzten Flugzeugtypen bereits von zwischenzeitlich erzielten Ergebnissen der Luftfahrttechnik profitieren, innerhalb der sich folgende Schwerpunkte herausgebildet haben [36]:

Entwicklung transsonischer Flügelprofile für Reisemachzahlen von 0,96 bis 0,98 durch weite Rücklage des Druckminimums an der Flügeloberseite (Whitcomb-Flügel) oder durch eine angenähert stoßfreie Druckrückgewinnung im hinteren Flügelbereich,

Verbesserung der Hochauftriebseigenschaften von Flügeln durch Absaugen oder Ausblasen von Luft höherer Gesamtenergie,

Reduktion des aerodynamischen Widerstands durch Grenzschichtbeeinflussung,

Verbesserung des Triebwerkswirkungsgrades durch erhöhte Verbrennungstemperatur bei gleichzeitiger Verbesserung der Turbinenschaufelkühlung,

Darüber hinaus wird mit Nachdruck an einer Absenkung des Fluglärms gearbeitet, z.B. durch die Entwicklung konstruktiver Maßnahmen zur Verminderung des Lärms von Überschallstrahlen, des Grenzschicht-, des Propeller- und Triebwerklärms [37] sowie des Überschallknalls.

Neben den CTOL-Starrflüglern bieten sich VTOL++)- und STOL+++)-Flugzeuge für den Luftverkehr der Zukunft an. Ihr Interesse an diesen neuen Flugzeugkonzeptionen hat die Bundesregierung dadurch bekundet, daß auf ihre Initiative hin 1969 ein nationaler Wettbewerb für ein sowohl für den zivilen als auch mit geringen Änderungen für den militärischen Einsatz geeignetes V/STOL-Projekt ausgeschrieben wurde, für den die Deutsche Lufthansa gemeinsam mit dem Führungsstab der Luftwaffe die Rahmenanforderungen ausgearbeitet hatte (Tafel 6). An diesem Wettbewerb waren folgende V/STOL-Projekte beteiligt [38]:

+) SST = Supersonic Transport

++) VTOL = Vertical Take-Off and Landing

+++) STOL = Short Take-Off and Landing

1. DO-231 (Strahlgestützter Schulterdecker mit weitgehend getrennten Hub- und Schubtriebwerken)

2. HFB-600 (Strahlgestützter Schulterdecker mit kombinierten Hub- und Schubtriebwerken)

3. MBB-BO 140 (Propellergetriebener Kippflügler, Einflügelanordnung)

4. VFW-VC 500 (Propellergetriebener Kippflügler, Flügel in Tandemanordnung)

Inzwischen wurde eine Entscheidung zugunsten des erstgenannten Projektes gefällt [39].

Während die propellergetriebenen Projekte insbesondere unter militärischen Gesichtspunkten einige Vorteile aufweisen, wie

bessere Schwebeflugeigenschaft,
geringere Bodenanforderungen als Folge niedrigerer Strahlbelastung,
robustere und einfachere Bauweise,

sprechen für die strahlgetriebenen Versionen folgende Eigenschaften [40]:

höhere Fluggeschwindigkeit,
geringere Lärmprobleme im Hinblick auf die Zukunft,
höherer Flugkomfort, "Jet Appeal".

Vergleicht man Vor- und Nachteile von VTOL- gegenüber STOL-Projekten, so spricht für VTOL-Versionen:

geringerer Platzbedarf für Start und Landung und damit niedrigere indirekte Betriebskosten (Abb. 17 [35]),
größere Wind- und Wetterunabhängigkeit bei Start und Landung,
keine Wartezeiten bei Start und Landung,
einfachere Landung gegenüber dem bei STOL-Flugzeugen üblichen Steilanflug unter Winkeln von 6° bis 8° [41]

und für STOL-Projekte:

geringere direkte Betriebskosten als Folge niedrigeren Konstruktionsaufwands,
günstigeren Verhältnisses Nutzlast/Strukturgewicht,
geringeren Treibstoffverbrauchs in der Startphase.

Die Argumente für eine baldige Realisierung des V/STOL-Flugverkehrs sind folgende:

Notwendigkeit der Entlastung der Großflughäfen durch Verlagerung des Kurzstreckenverkehrs,
Notwendigkeit der Verkürzung der Zubringerzeiten zu den Großflughäfen,
Anbindung neuer Gebiete an den Luftverkehr durch den Bau stadtnaher Flughäfen mit geringem Platzbedarf [35].

Gegen eine Verwirklichung des V/STOL-Luftverkehrs in naher Zukunft können folgende Gründe sprechen:

- mangelnde finanzielle Unterstützung für V/STOL-Projekte durch die Öffentliche Hand [39],
- erklärtes Desinteresse der Deutschen Lufthansa an einem Engagement auf kurzen Flugstrecken [42],
- günstige Schienenverbindungen im Rahmen des Intercity-Eisenbahnverkehrs,
- ungeklärte Wirtschaftlichkeit des V/STOL-Verkehrs,
- Möglichkeit, daß Sicherheits-, Lärm- und sonstige Umweltschutzforderungen den Flugbetrieb in oder über Ballungsgebieten entgegenstehen.

Außer den V/STOL-Starrflüglern ist als potentieller Konkurrent auch der Hubschrauber in die Untersuchung mit einzubeziehen. Einige Hubschrauber-Liniendienste existieren in den USA [43], wovon der halbstündige Zubringerverkehr von Manhatten zum JFK-Airport New York wohl der bekannteste ist [44]. Bisherigen Versuchen in Europa, den Hubschrauber im Linienluftverkehr einzusetzen, war wenig Erfolg beschieden; die Gründe hierfür waren folgende Nachteile gegenüber dem Starrflügler:

- mangelnde Wirtschaftlichkeit (Gründe: hohe Abschreibungskosten, hohe Flugbetriebskosten, hohe Wartungskosten [45]),
- geringe Fluggeschwindigkeit (Grund: Auftreten von Schallgeschwindigkeit und damit Strömungsablösung an den Rotorblattspitzen),
- geringe Nutzlast und, hierdurch bedingt, hohe Transportkosten je Passagier,
- große Lärmbelästigung,
- mäßiger Komfort.

Den heutigen technischen Stand des Hubschraubers können folgende Typen charakterisieren [46]:

Sikorsky S 61 N Mark II:
Dauergeschwindigkeit = 225 km/h
Nutzlast = 30 Passagiere

und

Boeing-Vertol 107 Mod. II:
Dauergeschwindigkeit = 241 km/h
Nutzlast = 25 Passagiere

Den oben genannten Mängeln versucht man durch neue Bauweisen zu begegnen (Compound-Hubschrauber, Convertiplan). Beide Typen entstehen durch Kombination des Hubschraubers mit Elementen des Starrflüglers. Beim Convertiplan bzw. Verwandlungshubschrauber wird der Rotor nur noch während der Start- und Landephase benötigt; im Horizontalflug wird er zusammengefaltet, da die Auftriebserzeugung dann mittels Tranflügel erfolgt. Der Compound-Hubschrauber besitzt zur Entlastung des Rotors Stummelflügel, darüber hinaus gegebenenfalls für den Reiseflug horizontal angeordnete Luftschrauben, die den Vorwärtsschub erzeugen bzw. vergrößern. Daten eines Zukunftsprojekts, das nach Firmenangabe [47] Mitte der siebziger Jahre zur Verfügung stehen könnte, lauten wie folgt:

Sikorsky S-65-200, Compoundhubschrauber
(Auftriebserzeugung im Horizontalflug: 30 % Rotor, 70 % Flügel,
Vorwärtsschuberzeugung: 100 % Propeller)
Dauergeschwindigkeit = 425 km/h
Nutzlast = 86 Passagiere.

Die leistungsmäßigen Nachteile gegenüber dem Starrflügler würden damit zwar gemindert, nicht aber beseitigt; die genannten Rahmenanforderungen (Tafel 6), die als Bewertungsgrundlage eines für den deutschen Verkehrsmarkt konzipierten V/STOL-Projektes dienen, werden teilweise bei weitem nicht erreicht.

Theoretisch handelt es sich auch bei den nichtspurgebundenen Luftkissenfahrzeugen um Luftverkehrsmittel, in der Praxis jedoch erfüllen die bisher eingesetzten Geräte im wesentlichen die Funktion von Wasserverkehrsmitteln. Wie problematisch hier eine klare Zuordnung ist, geht aus der Tatsache hervor, daß Hovercraft-Linienverbindungen heute gleichzeitig in den beiden weltweiten Kursbüchern für den Luft- und Schiffsverkehr, "ABC World Airways Guide" und "ABC World Shipping Guide", aufgeführt werden [48].

Während die ersten theoretischen Grundlagen für ein Luftkissenfahrzeug auf den Russen K.E. Ziolkowskij zurückgehen dürften [49], der sich 1927 den Entwurf eines derartigen Gerätes patentieren ließ, wurden die ersten praktischen Erfolge auf diesem Gebiet in England erzielt. Nachdem im Jahre 1959 die erste Ärmelkanalüberquerung mit einem Luftkissenfahrzeug Cockerell SRN 1 gelungen war, wurde ab 1968 ein regelmäßiger Fährdienst zwischen Calais und Ramsgate mit Hovercraft-Geräten eingerichtet, der sich sehr erfolgreich entwickelt. Ein weiterer Hovercraft-Liniendienst existiert zwischen San Francisco und Oakland [43].

Den heutigen technischen Stand nichtspurgebundener Luftkissengeräte zeigt folgendes Fahrzeug:

Westland SRN-4
Dauergeschwindigkeit bis 130 km/h (je nach Seegang)
Nutzlast = 250 Passagiere + 30 Fahrzeuge
Gleithöhe ca. 2,5 m.

Mit einem Verkehrseinsatz von nichtspurgebundenen Bodeneffektgeräten ist nicht zu rechnen, da die für einen wirtschaftlichen Einsatz erforderliche große Nutzlast und hohe Reisegeschwindigkeit (Abb. 18 [50]) einen Einsatz im normalen Überlandverkehr nur in spurgeführter Version sinnvoll erscheinen lassen.

Die bisher gebauten und projektierten Luftkissenfahrzeuge sind in erster Linie für den Kurzstreckenverkehr über Wasser und in unwegsamen Gegenden konstruiert; ihr Einsatz in verkehrlich erschlossenen Regionen bringt keinen erkennbaren Vorteil, wohl aber den Nachteil einer zur Zeit noch sehr hohen Lärmbelästigung.

Als Fazit für den Luftverkehr im betrachteten Streckenbereich ergibt sich, daß neben dem CTOL-Flugzeug bei optimistischer Prognose bis zum Ende der vorgegebenen Zeitspanne lediglich noch V/STOL-Starrflügler zum Verkehrseinsatz gelangen werden. Die Möglichkeit eines SST-Flugverkehrs über dicht besiedelten Gebieten zeichnet sich innerhalb des Prognosezeitraumes nicht ab.

4.4.3 Straßenverkehrsmittel

Die Untersuchung der Straßenverkehrsmittel, die eine echte Alternative zum Flugzeug darstellen bzw. innerhalb des Prognosezeitraumes darstellen werden, kann sich im wesentlichen auf den privaten PKW konzentrieren, wobei verschiedene Besetzungsgrade zu berücksichtigen sind, da sich diese stark auf die personenbezogenen Beförderungskosten und damit auf die Attraktivität dieses Verkehrsmittels auswirken. Ebenso wird zwischen Fahrzeugen zweier Qualitätsklassen unterschieden. Nur in Ausnahmefällen, z.B. für den Reisezweck Urlaub/Erholung, ist auch der Omnibus, insbesondere aufgrund der geringen Beförderungskosten pro Person, die sich bei voller Auslastung mit diesem Verkehrsmittel realisieren lassen, in die Betrachtung miteinzubeziehen.

4.4.4 Schienenverkehrsmittel

An Schienenverkehrsmitteln kommt als Konkurrent des Flugzeugs in erster Linie die konventionelle Eisenbahn in Betracht, wobei aufgrund des bestehenden Preis- und Qualitätssprungs zwischen TEE, F-, D-Zug 1. Klasse einerseits und dem D-Zug 2. Klasse andererseits unterschieden werden muß. Insbesondere die Entwicklung in Japan bzw. die dort mit der Tokaido-Linie gewonnenen Erfahrungen zeigen, daß die technische Leistungsgrenze der "klassischen" Eisenbahn bisher noch bei weitem nicht erreicht ist [51] und daß insbesondere in der Bundesrepublik, wo die Bundesbahn bisher mit den Auswirkungen des 2. Weltkrieges, mit den ihr ohne volle finanzielle Ausgleichszahlungen übertragenen sozialen Aufgaben und einer im Vergleich zu den übrigen Verkehrsarten problematischen Wegekostenregelung belastet war, in ihrer Attraktivität noch erheblich steigerungsfähig ist, sofern die erforderlichen finanziellen Mittel zur Verfügung stehen werden.

Eine entsprechende Tendenz zeichnet sich in der derzeitigen deutschen Verkehrspolitik ab durch die in der Regierungserklärung vom 28. Oktober 1969 angekündigte Übernahme der nach dem Kriege entstandenen Schuldenlast der Deutschen Bundesbahn, durch verstärkte Ausgleichszahlungen für die Übernahme der sozialen Aufgaben sowie durch eine Neutralisierung der gegenüber den übrigen Konkurrenten der Bundesbahn unterschiedlichen Wegekosten [52].

Neben den allgemein zu beobachtenden Bestrebungen, die noch bestehenden Möglichkeiten der konventionellen Eisenbahn möglichst weitgehend auszuschöpfen, widmet man sich zur Zeit in fast allen führenden Industrieländern (z.B. USA, Japan, Bundesrepublik, England und Frankreich) dem Studium und der Entwicklung nichtkonventioneller Schienenverkehrsmittelprojekte mit dem Ziel, auch dem Massenverkehr über einen großen Entfernungsbereich flugzeugähnliche Reisegeschwindigkeiten zu erschließen. Besondere Bedeutung kommt hier den spurgebundenen Bodeneffektgeräten mit Luft- oder Magnetkissen-Abstützung zu. Da der wirtschaftliche Betriebsbereich von Bodeneffektgeräten entsprechend Abb. 18 im Bereich hoher Geschwindigkeiten liegt, kommen als mögliche Antriebsarten Turbinen-Propeller-Antrieb, Strahlbetriebswerk oder Linearmotor in Betracht.

Als erstes Projekt dieser Art hat der "Aerotrain" der Firma Bertin, ein luftkissengestütztes, mit Gasturbinenantrieb versehenes, spurgeführtes Verkehrsmittel, Serienreife erreicht und steht nun unmittelbar vor der Integration in das französische Verkehrssystem. In der Bundesrepublik befinden sich zwei spurgebundene

Verkehrsmittel mit Bodeneffekt-Abstützung im Stadium des Projektstudiums, und zwar das elektromagnetisch gestützte und mit einem Linearmotor als Antrieb versehene "Hochleistungsschnellbahn"-(HSB)-Projekt der Firmen+) Messerschmitt-Bölkow-Blohm und Strabag sowie das wahlweise luftkissen- oder elektromagnetisch gestützte und ebenfalls durch einen Linearmotor angetriebene "Transrapid"-Projekt der Firma Krauss-Maffei, wobei im Rahmen beider Projekte bereits ein im niedrigen Geschwindigkeitsbereich funktionsfähiges Versuchsfahrzeug der Öffentlichkeit vorgestellt wurde [53].

Als nichtkonventionelle Schienenbahn, wobei unter konventionell die Stützung bzw. Führung des Fahrzeuges mittels Stahlrad und Spurkranz auf Stahlschienen verstanden sein soll, kann ferner die ALWEG-Bahn genannt werden, über die bereits praktische Erfahrungen vorliegen. Diese ursprünglich für den Fernverkehr geplante Sattelbahn konnte dem Anspruch als Fernverkehrsmittel aufgrund der relativ geringen Höchstgeschwindigkeit (ca. 120 km/h) und verschiedener konstruktiver Schwierigkeiten, wie hoher Verschleiß der auf Betonuntergrund laufenden Gummiräder, Schwierigkeiten bei der Weichengestaltung, Vereisungsgefahr des Fahrbalkens usw., bisher nicht gerecht werden. Die bisher längste Strekke beträgt 13,2 km, wurde 1964 in Betrieb genommen und verbindet Tokio mit dessen Flughafen Haneda [54]. Eventuelle Zukunftschancen der ALWEG-Bahn liegen im Nahverkehrsbereich [55]. Gleiches gilt für Hängebahn-Projekte, die in Ballungsgebieten wegen ihres geringen Bodenbedarfs und der Baumöglichkeit ohne größere Beeinträchtigung des fließenden Verkehrs einige Vorteile gegenüber anderen Bauarten aufweisen, die aber für den Fernverkehr u.a. wegen der erforderlichen großen lichten Weite bei Tunnelbauten unzweckmäßig sind [55].

Röhrenbahnprojekte dürfen bei der vorliegenden Untersuchung ausgeklammert werden, einerseits weil die technischen Realisierungsmöglichkeiten noch ungeklärt sind, andererseits weil die Tunnelbauweise einen aus heutiger Sicht unvertretbar hohen Kapitaleinsatz erfordert.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß selbst bei optimistischer Einschätzung der Entwicklung nur ein spurgebundenes Bodeneffektgerät gewisse Chancen hat, innerhalb des Prognosezeitraumes als zweites Schienenverkehrsmittel neben der konventionellen Eisenbahn in der Bundesrepublik zum praktischen Verkehrseinsatz zu gelangen. Wesentlich höhere Wahrscheinlichkeit ist allerdings einem Indienststellungstermin beizumessen, der etwa im Jahre 1990 oder später liegt.

4.5 Aufstellung einer Zielertragsmatrix

Indem man den zu vergleichenden Verkehrsmittelalternativen quantitativ ermittelte Beträge für die aus der hierarchischen Aufgliederung des Zielprogramms gewonnenen Zielkriterien zuordnet, erhält man die Zielertragsmatrix, die als einheitliche Informationsbasis für die später erfolgende, von Reisezweck und Reiseentfernung abhängige Bewertung dient und die schematisch in Tafel 7 dargestellt ist.

+) in Zusammenarbeit mit der Deutschen Bundesbahn

Die Eingrenzung der jeweils in einer gemeinsamen Zielertragsmatrix zu berücksichtigenden Alternativen ist so vorzunehmen, daß die beiden folgenden Randbedingungen erfüllt sind:

a) Im Sinne der in Abschnitt 4.3.5 geforderten bedingten Nutzenunabhängigkeit der Zielkriterien bzw. Attraktivitätseigenschaften sind die Transportpreis- bzw. -kostenschwellen so zu fixieren, daß von einer vernachlässigbaren Preis (bzw. Kosten) -Qualitäts-Abhängigkeit gesprochen werden kann.

b) Für eine vergleichende Bewertung kommen nur solche Verkehrsmittel in Betracht, die bezüglich ihrer funktionellen Zweckerfüllung nicht nur theoretisch, sondern bezüglich ihres Transportpreises (bzw. ihrer Transportkosten) für vorgegebene planungsrelevante Benutzergruppen unter Berücksichtigung von deren finanziellen Möglichkeiten auch praktisch verfügbar und alternativ benutzbar sind.

Das Verkehrsmittelangebot in der Bundesrepublik umfaßt in erster Näherung zwei Preis- und Qualitätsgruppen entsprechend der Zweiklassenteilung bei der Deutschen Bundesbahn und der mit diesen beiden Eisenbahnklassen konkurrierenden Verkehrsmittel. Diesem Angebot entspricht nachfrageseitig eine Zweiteilung des Verkehrskundenpotentials im Hinblick auf die unterschiedliche Finanzstärke der als planungsrelevant empfundenen Gruppen. Als grobe Richtlinie für diese Zweiteilung zeigt Abb. 19 die Entwicklung der mittleren Einkommen in der BRD.

Die Gruppe I wird gebildet aus Angehörigen der finanziellen Oberschicht und der oberen Mittelschicht, die in der Regel über einen PKW der oberen Preis- und Leistungsklasse verfügen. Diese Gruppe kann theoretisch ihre Wahl unter allen angebotenen Verkehrsmitteln durchführen, praktisch dürfte sich dieser Auswahlprozeß jedoch nur unter den Verkehrsmitteln M_{iI} der Tafel 7 vollziehen.

Die Nachfragergruppe II besteht aus der finanziellen Unterschicht und der unteren Mittelschicht. Angehörige dieser Gruppe verfügen nur teilweise über einen PKW, der dann meist leistungsmäßig und preislich der Unter- bzw. Mittelklasse angehören wird. Die Verkehrsmittelauswahl dieser Kundengruppe vollzieht sich praktisch nur unter den Verkehrsmitteln M_{iII} der Tafel 7.

Wenn auch bei gleichzeitiger Betrachtung des Gesamtangebots von Verkehrsmitteln nicht von einer bedingten Preis-Qualitäts-Abhängigkeit gesprochen werden kann, so dürfte dies doch annähernd für eine getrennte Betrachtung der Verkehrsmittelgruppen M_{iI} und M_{iII} zutreffen, so daß hier eine Preis-Qualitäts-Abhängigkeit in Form eines Reaktionsbandes vorliegt, wie dies in Abb. 20 schematisch dargestellt ist. Demnach sind einem vorgegebenen Preis verschiedene Qualitäten, deren Spielraum durch die Schnittpunkte der Linie P = const. mit den Grenzen des Reaktionsbandes fixiert ist, zuordbar.

4.6 Entwicklung eines Attraktivitätsvergleichsverfahrens

4.6.1 Vorbemerkung

Sehr eingehend mit den Möglichkeiten des Qualitätsvergleichs von Verkehrsleistungen hat sich Klatt in seiner bereits genannten Habilitationsschrift [8] befaßt. Von den von Klatt untersuchten Methoden scheint diejenige des Qualitätsvergleichs mit

Hilfe der Distanzmessung als für den vorliegenden Zweck besonders geeignet. Diese Form des Qualitätsvergleichs basiert auf der Annahme, daß aus n Eigenschaften bestehende Qualitäten, aufzufassen als Punkte im n-dimensionalen Raum, um so ähnlicher sind, je kleiner die Distanz zwischen sich entsprechenden Punktepaaren ist. Stellt man die zu vergleichenden Qualitäten als multidimensionale Größe in Form von Qualitätsprofilen dar, wobei vorausgesetzt werden muß, daß diese die gleiche Qualitätsstruktur, d.h. die gleichen Arten und die gleiche Anzahl von Qualitätseigenschaften aufweisen, so ergibt eine minimale Distanz der Profillinien ein Maximum an Ähnlichkeit der zu vergleichenden Qualitäten.

Das hier angewandte Attraktivitätsvergleichsverfahren wurde aufbauend auf der genannten Arbeit [8] entwickelt [56]. Demnach ergibt sich das optimale Verkehrsmittel zur Erfüllung eines vorgegebenen Reisezwecks aus dem Vergleich aller angebotenen Verkehrsmittel mit einem fiktiven, in puncto Qualität und Billigkeit aus Kundensicht "idealen" Verkehrsmittel.

Das Attraktivitätsprofil dieses Idealverkehrsmittels ist so festgelegt, daß bei ihm alle Attraktivitätseigenschaften in der bei den zu vergleichenden Verkehrsmitteln maximal vorhandenen Niveauhöhe auftreten. Die Distanz der Attraktivitätsprofillinien zwischen dem realen und dem fiktiven Verkehrsmittel wird, entsprechend der Bedeutung, die der Kunde den einzelnen Attraktivitätskriterien beimißt, dadurch gewichtet, daß die skalierten, d.h. wertmäßig vergleichbar gemachten Differenzen sich entsprechender Eigenschaften mit einem Gewichtungsfaktor multipliziert werden, der sich aus Meinungsumfragen ermitteln läßt und der in erster Näherung eine Funktion des Reisezwecks, bei verfeinerter Betrachtung darüber hinaus auch des Alters, Berufs und Einkommens des Verkehrskunden ist.

4.6.2 Ermittlung der Skalierungsfaktoren

Zur Umwandlung der in unterschiedlichen Dimensionen gemessenen Zielerträge in bezüglich ihrer Wirkung auf die Transportattraktivität vergleichbare Zielwerte ist deren Abbildung auf einer gemeinsamen Wertskala erforderlich. Im vorliegenden Fall geschieht diese vergleichende Wertung mit Hilfe einer Intervallskala, die in der Weise gegenüber den einzelnen Zielertragsskalen fixiert wird, daß die Minimalwerte der sich entsprechenden Eigenschaften aller zu vergleichenden Verkehrsmittel als gleichermaßen sehr schlecht und die derzeit erreichten Optimalwerte einheitlich als sehr gut bewertet werden. Ebenso wird unterstellt, daß eine lineare Teilung dieses Wertbereichs der menschlichen Empfindungsskala entspricht, eine Annahme, die durch psychometrische Untersuchungen gegebenenfalls zu überprüfen wäre.

Die Abbildung der Zielerträge erfolgt dann mit Hilfe einer linearen Transformation:

$$N^{*}_{i,j} = k_j \cdot N_{i,j} + b_j \qquad (k_j > 0), \tag{1}$$

wobei $N^{*}_{i,j}$ die transformierte Niveauhöhe der Attraktivitätseigenschaft $E_{i,j}$ mit der Zielertragshöhe $N_{i,j}$ und k_j die Transformationskonstante der Bewertungseinheit ist, während b_j jeweils die Nullpunktverschiebung zwischen der Zielwertskala und den Zielertragsskalen angibt. Der Index i bezieht sich auf die zu vergleichenden Verkehrsmittelalternativen M_i. j ist der laufende Index der Attraktivitätseigenschaften.

Durch die in der beschriebenen Weise vorgenommene Fixierung der Bewertungsskala wird der Skalierungsvorgang von folgenden Einflußfaktoren abhängig, die bei der Bewertung zu berücksichtigen sind:

a) vom jeweiligen technisch-organisatorischen Niveau der Verkehrsleistung,

b) von der jeweiligen Verkehrstarif- bzw. Verkehrskostenhöhe,

c) von der Einkommenslage der Nachfrage,

d) vom betrachteten Reiseentfernungsbereich.

a), b) und c) bewirken, daß bei einer Attraktivitätsprognose über die prognostizierten Zielerträge N_j auch die Skalierungsfaktoren k_j und b_j auf den Prognosezeitpunkt hochzurechnen sind,

d) bewirkt, daß Attraktivitätsanalysen und -prognosen jeweils nur für bestimmte Entfernungsbereiche gelten können, da die Optimal- und Minimalwerte für einige der Zielkriterien stark entfernungsabhängig und zudem eventuell für unterschiedliche Streckenbereiche auch verschiedenen Verkehrsmitteln zugeordnet sind. Die Skalierung erfolgt beispielhaft für zwei Streckenlängen; sie müßte zur Gewinnung eines umfassenden Überblicks in gewissen Entfernungsintervallen kontinuierlich über den gesamten Streckenbereich durchgeführt werden.

4.6.3 Ermittlung der Gewichtungsfaktoren

Die Auflösung des Zielsystems führt zu einer mehrstufigen hierarchischen Struktur (Abb. 9) von Zielen, die durch Zielketten (logische Folge von Einzelzielen, die Zwischenstufen zur Realisation des vorgegebenen Gesamtzieles darstellen) und Zielknoten (gemeinsames Oberziel mehrerer Unterziele) miteinander verbunden sind.

Da sich die diese Ziele repräsentierenden Kriterien (Zielkriterien, Attraktivitätseigenschaften) sowohl bezüglich des Gesamtzieles gewichten lassen (z.B. Gewichtung des Einflusses des Zielkriteriums "Pünktlichkeit" auf das Gesamtziel "Transportattraktivität") als auch bezüglich des nächst übergeordneten Oberzieles (z.B. Gewichtung des Einflusses des Zielkriteriums "Pünktlichkeit" auf das Zielkriterium "Schnelligkeit") ist grundsätzlich bei der Gewichtung von Zielkriterien zwischen zwei Arten von Gewichtungsfaktoren zu unterscheiden [16]:

a) dem Knotengewicht $Gk(s,\eta)_j = f(z)$

b) dem Stufengewicht $Gs(s,\eta)_j = f(z)$

Dabei entspricht das Stufengewicht dem später benötigten Gewichtungsfaktor g_j, während das Knotengewicht dazu dient, den Schätzvorgang für Stufengewichte unterer Hierarchiestufen zu erleichtern.

Zu a) Das Knotengewicht ist das relative Gewicht eines als Unterziel fungierenden Kriteriums der Stufe s bezüglich des direkt übergeordneten Oberzieles der Stufe s-1. Die Bezugsmenge für die relative Gewichtung umfaßt alle Unterziele der Stufe s dieses Oberzieles. Die Knotengewichte werden geschätzt, wobei gelten muß·

$$\sum_{\eta=1}^{\mu} Gk\ (s,\eta)_j = 1 \qquad j = const. \qquad (2)$$

mit

s = Index der Hierarchie-Stufe
η = laufender Index der Unterziele des gemeinsamen Oberzieles j

Zu b) Das Stufengewicht ist das relative Gewicht eines Kriteriums auf das Gesamtziel (Stufe s = 1). Die Bezugsmenge für die relative Gewichtung umfaßt alle Kriterien, die als Endpunkte von Zielketten übergeordneter Stufen fungieren. Falls die Stufengewichte für eine übergeordnete Stufe bekannt sind, können diejenigen für die weiteren Stufen aus den geschätzten Knotengewichten wie folgt berechnet werden:

$$Gs\ (s,\eta)_j = Gk\ (s,\eta)_j \cdot Gs\ (s-1,j). \qquad (3)$$

Für die Endpunkte aller Zielketten gilt:

$$Gs\ (s,j) = g_j, \qquad \sum_{\eta=1}^{\mu} g_j = 1 \qquad (4)$$

Die Gewichtungsfaktoren

$$g_j = f(z) \qquad z = \text{Reisezweck}$$

dienen nun dazu, die Differenz sich entsprechender Zielerträge des bereits unter Punkt 4.6.1 genannten fiktiven "Idealverkehrsmittels" und der mit diesen zu vergleichenden realen Verkehrsmitteln entsprechend dem Empfinden der Verkehrskunden zu gewichten. Da die Größe dieser Faktoren auf subjektiven Wertvorstellungen basiert, sind diese für einen repräsentativen Bevölkerungsquerschnitt durch Meinungsumfragen zu ermitteln. Für den Fall, daß zwischen den Zielkriterien und deren Unterzielen auf den nächst darunterliegenden Stufen ein formelhafter Zusammenhang, wie etwa zwischen der Reisezeit (Reisegeschwindigkeit) und ihren Einflußgrößen (Tafel 2), nicht besteht, muß das Stufengewicht für Kriterien niedrigerer Hierarchiestufen mit Hilfe der bekannten Stufengewichte und geschätzten Knotengewichte nach Gl. 3 berechnet werden.

Im Hinblick auf die genannte Problemstellung sind die Ergebnisse bereits durchgeführter Meinungsumfragen, die für die vorliegende Untersuchung zur Verfügung standen, nur sehr bedingt brauchbar. Soweit es sich um ausländische Umfragen handelt, (z.B. [57, 58]) kann ihre Übertragbarkeit auf die deutschen Verhältnisse angezweifelt werden, bei anderen Befragungen bestehen Bedenken, teils wegen der anderen Zielsetzung, unter der diese zustande kamen, teils wegen nicht eindeutiger Fragestellung, Widersprüchen in den Ergebnissen, starker Interdependenzen bei den zu bewertenden Kriterien, zu befürchtender mangelhafter Informiertheit der Befragten o.ä. Auf der Basis bisher verfügbarer Unterlagen lassen sich die benötigten Gewichtungsfaktoren daher nur in erster grober Näherung ermitteln und wären gegebenenfalls durch genauere psychometrische Messungen zu überprüfen. Da erwartet werden kann, daß diese Gewichtungsfaktoren nicht zeitkonstant sind, müßten derartige Messungen zur Bestimmung der Gesetzmäßigkeiten des zeitlichen Entwicklungsverlaufs kontinuierlich wiederholt werden.

Für die Lösung der folgenden Aufgabenstellung müßte als Ergebnis entsprechender Meinungsumfragen eine durch prozentuale Stimmenanteile belegte Rangfolge entstehen, entsprechend der Bedeutung, die eine repräsentative Masse von Verkehrskunden folgenden Zielertragsanteilen beimißt:

$$
\begin{array}{cccc}
g_1 \% N_1 & \hat{=} & x_k \% A \\
\vdots & & \vdots \\
g_j \% N_j & \hat{=} & x_k \% A \\
\vdots & & \vdots \\
g_n \% N_n & \hat{=} & x_k \% A,
\end{array}
$$

wobei sich der Bereich der Werte N_j ($N_{jmin} \leqq N_j \leqq N_{jmax}$) der einzelnen Zielerträge, für die ein konstanter Gewichtungsfaktor g_j angenommen wird, dem wiederum ein für alle $N_j, j=1(1),n$ konstanter Anteil x_k auf der zugrunde gelegten Attraktivitätsskala entspricht, aus der Skalierung ergibt.

4.6.4 Ermittlung der Attraktivitätsprofile

Mit Hilfe der transformierten Niveauhöhen, $N^*_{i,j}$ der Attraktivitätseigenschaften $E_{i,j}$ (Abschnitt 4.6.2) lassen sich nun die Attraktivitätsprofile der untereinander zu vergleichenden Verkehrsmittel, gemäß der schematischen Darstellung in Abb. 21, aufstellen. Als gemeinsame Bezugsgröße dient das die Zielerträge aller Attraktivitätskriterien in derzeit maximal vorhandener Höhe in sich vereinigende fiktive "Idealverkehrsmittel", das bezüglich dieser Zielkriterien den jeweils im praktischen Verkehrseinsatz erreichbaren Leistungshöchststand repräsentiert. Gemäß der in Abschnitt 4.6.2 bei der Skalierung der Attraktivitätseigenschaften definierten Grenzen ergibt das Attraktivitätsprofil dieses "Idealverkehrsmittels" eine Parallele zur Abszisse im Abstand N_j^*max.

4.6.5 Vergleich der Attraktivitätsprofile

Die einzelnen Schritte des Attraktivitätsvergleichs sind in Abb. 22 zusammenfassend dargestellt. Das Verfahren basiert auf der Annahme, daß ein Verkehrsmittel aus der Sicht des Kunden umso geeigneter zur Erfüllung eines vorgegebenen Reisezwecks ist, je geringer gewichtete Distanz zwischen seiner und der Attraktivitätsprofillinie des "idealen" Verkehrsmittels ist. Unter Zugrundelegung der reisezweckabhängigen Gewichtungsfaktoren $g_{j,z}$ (Abschnitt 4.6.3), der transformierten Niveauhöhen N^*_{ij} für die Attraktivitätskriterien der Verkehrsmittelalternativen M_i bzw. N^*_{jmax} für das fiktive "Idealverkehrsmittel" (Abschnitt 4.6.2) gilt also für die optimale Transportattraktivität:

$$\sum_{j=1}^{n} g_{j,z} \cdot (N^*_{jmax} - N^*_{i,j})_z \longrightarrow \text{Minimum} \qquad (5)$$

Die Transportattraktivität eines beliebigen Verkehrsmittels M_i ergibt sich wie folgt:

$$A_{i,z} = \sum_{j=1}^{n} N^*_{jmax} - g_{j,z} \cdot (N^*_{jmax} - N^*_{i,j})_z \qquad (6)$$

4.7 Darstellung des Prognoseverfahrens

Nachdem die Abgrenzung der verfügbaren Verkehrsmittelalternativen zum Ist- und zum Prognosezeitpunkt bereits in Abschnitt 4.4 erfolgte, sollen nun die Prognose- und Schätzverfahren kurz erläutert werden, die zur Abschätzung des weiteren Entwicklungsverlaufes der Zielerträge, die mit den Attraktivitätseigenschaften der konkurrierenden Verkehrsmittel verknüpft sind, benutzt werden.

Diese Verfahren sind nach [110] unterteilbar in:

a) qualitativ-intuitive Methoden
b) quantitativ-intuitive Methoden
c) qualitativ-analytische Methoden
d) quantitativ-analytische Methoden.

Zu a): Für das vorliegende Problem kommen insbesondere Annahmen über künftige Entwicklungen auf der Basis von Expertenbefragungen, d.h. unter Berücksichtigung von Aussagen kompetenter Fachleute für einen möglichst eng begrenzten Problemkreis sowie von Firmenverlautbarungen und intuitiven Schätzungen in Betracht. Weitere Verfahren dieser Gruppe, wie Delphi-Methode (Systematische Befragung eines Expertenstabes in mehreren Befragungsstufen mit Analyse und Korrektur divergierender Aussagen) und Scenario-Writing (Abschätzung alternativer Entwicklungsverläufe mit logischen Ereignisfolgen bis zum Prognosezeitpunkt auf der Basis einer Systemanalyse) scheiden aus Gründen des erforderlichen personellen, finanziellen und zeitlichen Aufwandes im vorliegenden Fall aus.

Zu b): Diese Gruppe umfaßt insbesondere Prognosen unter Anwendung von Wachstumsmodellen und Trendextrapolation. Während der Einsatz von Wachstumsmodellen einen vorgegebenen Entwicklungsverlauf der Zielgröße, etwa analog zum Entwicklungsverlauf biologischer Wachstumsprozesse als a priori gegeben unterstellt, ergibt sich bei einer mathematischen Trendextrapolation der Funktionsverlauf aus der Forderung nach Minimierung der Abweichungsquadratsumme Q zwischen den vorgegebenen Meßwerten y_i und den diesen zeitlich entsprechenden Werten Y_i der Näherungsfunktion

$$Q = (Y_i - y_i)^2 = \text{Minimum} \qquad (7)$$

Für die Näherungsfunktion, die die zu prognostizierende Größe als zu erklärende Variable und die Zeit t als erklärende Variable enthält, kommen lineare und nicht lineare Ansätze in Betracht, wobei man versuchen wird, die letztgenannten durch geeignete Substitutionen zu linearisieren. Bei den im vorliegenden Fall in Frage kommenden Funktionsgleichungen gelten folgende Beziehungen für diese linearisierende Transformation [111]: (S. 39 oben)

Die Koeffizienten a und b der Trendfunktion ergeben sich aus einer partiellen Ableitung der Funktionsgleichung für Q.

Für den linearen Ansatz

$$Y = a + b\,x \qquad (8)$$

Näherungsfunktion	Linearisierende Transformation			
	$Y^* =$	$x^* =$	$a^* =$	$b^* =$
$Y = a + b \cdot x$	Y	x	a	b
$Y = a + \frac{b}{x}$	Y	$\frac{1}{x}$	a	b
$Y = \frac{1}{a + bx}$	$\frac{1}{Y}$	x	a	b
$Y = a \cdot b^x$	$\lg Y$	x	$\lg a$	$\lg b$
$Y = a \cdot e^{b \cdot x}$	$\lg Y$	x	$\lg a$	$b \cdot \lg e$

($x=t$, $t \hat{=}$ Zeit)

erhält man durch das Nullsetzen der partiellen Differentialquotienten von Q:

$$\frac{\partial Q}{\partial a} = \frac{\partial}{\partial a} \sum_i (Y_i - y_i)^2 \tag{9}$$

$$= \frac{\partial}{\partial a} \sum_i (a + b\, x_i - y_i)^2 = 0$$

und

$$\frac{\partial Q}{\partial b} = \frac{\partial}{\partial b} \sum_i (Y_i - y_i)^2 \tag{10}$$

$$= \frac{\partial}{\partial b} \sum_i (a + b\, x_i - y_i)^2 = 0$$

die beiden Normalgleichungen für a und b

$$N\, a + (\sum_i x_i)\, b - \sum_i y_i = 0 \tag{11}$$

$$(\sum_i x_i)\, a + (\sum_i x_i^2)\, b - \sum_i x_i y_i = 0 \tag{12}$$

(N = Anzahl der Stichproben)

und damit die Koeffizienten selbst.

Eine wichtige Größe bei der Auswahl der geeigneten Näherungsfunktion ist das Bestimmtheitsmaß B

$$B = \sum_i (Y_i - \bar{y})^2 / \sum_i (y_i - \bar{y})^2 \tag{13}$$

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} y_i, \qquad (14)$$

das die Straffheit des Zusammenhanges zwischen der Trendfunktion und den Beobachtungspunkten wiedergibt.

B = 1 bedeutet funktionaler und B = O kein Zusammenhang zwischen Ziel- und Einflußgröße.

Die Wurzel des Bestimmtheitsmaßes (B) wird Korrelationskoeffizient (r) genannt, wobei sich das Vorzeichen von r aus folgender Bestimmungsgleichung ergibt:

$$r = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_i (Y_i - \bar{Y})^2}} = \sqrt{B} \qquad (15)$$

mit:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} x_i$$

r liegt damit innerhalb der Grenzen - 1 und + 1 und gibt an, ob die Korrelation gleichsinnig ($r > O$) bzw. gegensinnig ($r < O$) verläuft.

Die Anwendung der Trendextrapolation durch Zeitreihenausgleich scheint insbesondere dann zweckmäßig, wenn die explizite Ermittlung der den Entwicklungsverlauf der Zielgröße bestimmenden Einflußfaktoren nicht möglich ist oder wenn bereits derartig detaillierte Einflußgrößen ermittelt wurden, daß deren weitere Aufgliederung nicht mehr möglich bzw. nicht mehr zahlenmäßig belegbar ist.

Der Trendextrapolation liegt die Annahme zugrunde, daß die Zielgröße auch in Zukunft ähnlichen bzw. in ihrer Gesamtwirkung ähnlich starken Einflüssen unterliegen wird wie bisher, eine Prämisse, deren Richtigkeit um so eher für den Experten überprüfbar wird, je detaillierter die Zielgröße ermittelt wurde.

Zu c): Zu den qualitativ-analytischen Methoden ist insbesondere die morphologische Analyse zu rechnen, die bereits bei der Abgrenzung der möglichen Verkehrsmittelalternativen (Abschn. 4.4) erwähnt wurde. Das Verfahren dient der systematischen Ermittlung alternativer Lösungsmöglichkeiten für ein vorgegebenes technisches Problem durch Konstellationsänderungen der entscheidenden Parameter innerhalb eines realistischen Spektrums.

Zu d): Die wichtigsten quantitativ-analytischen Prognosemethoden sind Regressionsanalyse und Modellprognose. Bei einer Regressionsanalyse wird der Zusammenhang zwischen einer zu erklärenden Variablen und einer oder mehreren erklärenden Variablen, die in Form von Wertpaaren oder Wertsätzen gegenübergestellt werden, mathematisch in einer Regressionsgleichung erfaßt. Die Verknüpfung der Einflußgrößen, die, ebenso wie die Zielgröße, eine Funktion der Zeit t sind, kann additiv oder multiplikativ sein, wobei der multiplikativ verknüpfte Ansatz durch Logarithmieren auf einen additiven zurückgeführt werden kann. Aus der

Forderung nach Minimierung der Abweichungsquadratsumme Q ergeben sich analog zu der Vorgehensweise bei einer Trendextrapolation die Koeffizienten der Regressionsgleichung durch das Nullsetzen der partiellen Differentialquotienten der Funktion Q.

Für den linearen Ansatz:

$$Y_i = a + b_1 \cdot x_{1i} + b_2 \cdot x_{2i} \tag{15}$$

ergeben sich gemäß Gl. 7 durch das Nullsetzen der 3 partiellen Differentialquotienten von Q folgende Ausdrücke

$$\frac{\partial Q}{\partial a} = \frac{\partial}{\partial a} \sum (a+b_1 \cdot x_{1i}+b_2 \cdot x_{2i}-y_i)^2 = 2\sum (a+b_1 \cdot x_{1i}+b_2 \cdot x_{2i}-y_i) = 0 \tag{16}$$

$$\frac{\partial Q}{\partial b_1} = \frac{\partial}{\partial b_1} \sum (a+b_1 \cdot x_{1i}+b_2 \cdot x_{2i}-y_i)^2$$

$$= 2 \cdot \sum (a+b_1 \cdot x_{1i}+b_2 \cdot x_{2i}-y_i) \cdot x_{1i} = 0 \tag{17}$$

$$\frac{\partial Q}{\partial b_2} = \frac{\partial}{\partial b_2} \sum (a+b_1 \cdot x_{1i}+b_2 \cdot x_{2i}-y_i)^2$$

$$= 2 \cdot \sum (a+b_1 \cdot x_{1i}+b_2 \cdot x_{2i}-y_i) \cdot x_{2i} = 0 \tag{18}$$

bzw. folgende 3 Normalgleichungen, aus denen sich die Koeffizienten a, b_1 und b_2 ermitteln lassen:

$$N \cdot a + (\sum x_{1i}) \cdot b_1 + (\sum x_{2i}) \cdot b_2 - \sum y_i = 0 \tag{19}$$

$$(\sum x_{1i}) \cdot a+(\sum x_{1i}^2) \cdot b_1+(\sum x_{1i} \cdot x_{2i}) \cdot b_2-\sum x_{1i} \cdot y_i = 0 \tag{20}$$

$$(\sum x_{2i}) \cdot a+(\sum x_{1i} \cdot x_{2i}) \cdot b_1+(\sum x_{2i}^2) \cdot b_2-\sum x_{2i} \cdot y_i = 0 \tag{21}$$

Nach Durchführung einer Prognose der Einflußgrößen läßt sich mit Hilfe des in Form der Regressionsgleichung vorliegenden Algorithmus die Zielgröße zum Prognosezeitpunkt unter der Prämisse berechnen, daß die Art der mathematischen Verknüpfung der Variablen konstant bleibt.

Während sich bei einer Regressionsanalyse der mathematische Zusammenhang zwischen der Zielgröße und deren Einflußgrößen aus dem Rechenverfahren selbst ergibt, ist bei einer Modellprognose diese Verknüpfung a priori bekannt, etwa in Form eines wissenschaftlich exakten, deterministischen Zusammenhangs. Die Zielgröße zum Prognosezeitpunkt ergibt sich dann wiederum, indem man die Prognosewerte für die Einflußgrößen in die Modellgleichung einführt.

Eine allgemeine Darstellung der genannten Verfahren befindet sich, soweit es sich um mathematisch-statistische Methoden handelt, in [111] und [112], die spezielle Anwendung auf Probleme des Verkehrswesens ist in [113] und [114] dargestellt, während [110] eine kritische Bewertung der genannten Prognoseverfahren enthält.

Abschließend sei bemerkt, daß Prognosen von befriedigender Aussagekraft in den meisten Fällen eine kombinierte Anwendung mehrerer der genannten Verfahren erfordern, wobei diese Forderung im vorliegenden Fall besondere Bedeutung erhält, weil das zur Verfügung stehende Datenmaterial häufig auf Grund des zu geringen Stichprobenumfangs und einer zu hohen Streuung der Werte den Anforderungen im Hinblick auf eine mathematisch-statistische Weiterverarbeitung nur unvollkommen genügte.

Zur Prognose der Zielerträge wurden Methoden der Gruppen a, b und d benutzt. Die Durchführung der Rechenarbeiten erfolgte nach Aufstellung entsprechender Programme auf einem elektronischen Tischrechner.

4.8 Berücksichtigung von Unsicherheiten

Zur Berücksichtigung von Ungenauigkeiten und Unsicherheiten bei der Prognose der Zielerträge werden für die Prognosewerte Streubereiche eingeführt, die durch einen optimistischen und einen pessimistischen Schätzwert begrenzt sind. Bei der im vorliegenden Fall symmetrisch angenommenen Wahrscheinlichkeitsverteilung ist der Mittelwert dieser beiden Schätzungen der Erwartungswert, dem subjektiv die höchste Wahrscheinlichkeit beigemessen wird. Der genannte Streubereich erfaßt die mit unterschiedlichen Prognoseverfahren gewonnenen Zielerträge und berücksichtigt darüber hinaus, soweit solches Material vorliegt, intuitive Schätzwerte von Experten, Firmen und sonstigen kompetenten Institutionen.

Auf die Einführung eines optimistischen bzw. pessimistischen Schätzwertes für die Gewichtungsfaktoren, für die bisher keine Zeitreihen vorliegen, wird mangels sinnvoller Anhaltspunkte verzichtet.

Die Berücksichtigung eines optimistischen bzw. pessimistischen Erwartungswertes für die Zielerträge der betrachteten Verkehrsmittelalternativen macht jeweils eine neue Skalierung erforderlich, so daß die resultierende Änderung der Zielwerte teils direkt, teils indirekt auf die Veränderung der Zielerträge zurückzuführen ist.

Da die Nutzwertsynthese jeweils unter Berücksichtigung verschiedener Zielwerte der wichtigsten Attraktivitätskriterien erfolgt, ergibt sich ein überschlägiger Einblick in die Sensitivität des Gesamtsystems, d.h. es wird deutlich, in welchem Umfang Parameteränderungen den Funktionswert beeinflussen.

5. Datenerfassung

Das benötigte Datenmaterial umfaßt folgende Gruppen:

a) konstruktionstechnische Daten,
d.h. Zahlenmaterial über die technische Entwicklung der Verkehrsmittel bzw. derer Komponenten und der Verkehrsanlagen, soweit diese Faktoren einen Einfluß auf die zu untersuchenden Attraktivitätskriterien ausüben.

b) betriebs- und organisationstechnische Daten,
d.h. Zahlenmaterial über Häufigkeit und Pünktlichkeit der Fahrgelegenheiten, über Zubringer- und Abfertigungszeiten u.ä.

c) betriebswirtschaftliche Daten,
d.h. Zahlenmaterial über Tarifgestaltung sowie über Finanzlage der Verkehrsgesellschaften, Wirtschaftlichkeit der Verkehrsmittel u.ä., soweit die letztgenannten Faktoren von erkennbarem Einfluß auf die Tarifgestaltung sind.

d) sozio-ökonomische Daten,
d.h. Zahlenmaterial über die Einkommens-, Berufs-, Altersstruktur u.ä., soweit diese Faktoren bei der Bewertung der Attraktivitätskriterien zu berücksichtigen sind.

e) psychometrische Daten,
d.h. insbesondere Zahlenmaterial, das eine Abschätzung der Größe der Gewichtungsfaktoren als Funktion des Reisezwecks erlaubt.

Angesichts des mangelhaften Standes, den die verkehrstechnische Datenerfassung in der Bundesrepublik hat und der dadurch charakterisiert ist, daß

- das Material mühsam bei einer Unzahl von Quellen zusammengestellt werden muß,

- die Daten nur bruchstückhaft erfaßt werden,

- ein Großteil des Materials der Öffentlichkeit nicht zugänglich ist,

- die Daten häufig nicht den Anforderungen genügen, die im Hinblick auf ihre Weiterverarbeitung mit statistischen Methoden zu stellen sind,

sowie angesichts der Tatsache, daß die vorliegende Problemstellung sehr umfangreiches, teilweise sehr spezielles und darüber hinaus weitgehend in Form von Zeitreihen vorliegendes Zahlenmaterial erforderlich macht, müssen Lücken bei der Datenerfassung in Kauf genommen werden, die durch entsprechende Schätzungen zu überbrücken sind.

6. Darstellung der Ergebnisse

6.1 Vorbemerkung

Die Prognose der Zielerträge für den Luftverkehr erfolgt, soweit das Datenmaterial dies zuläßt, nach den im vorangegangenen Abschnitt vorgestellten Prognoseverfahren, wobei in einigen Fällen zu Vergleichszwecken bzw. zur Erhöhung der Transparenz der Vorgehensweise mehrere Verfahren gleichzeitig angewandt werden. Zur Überprüfung der prognostizierten Entwicklung dienen Expertenurteile, Firmenaussagen sowie bereits bekanntgewordene verkehrstechnische Planungs- und Entwicklungsergebnisse.

Die Prognoseergebnisse für den Luftverkehr werden vergleichsweise globalen Schätzungen der entsprechenden Zielerträge für die konkurrierenden Verkehrsarten gegenübergestellt, die ebenfalls nach Möglichkeit durch Expertenaussagen und Vergleiche mit laufenden Planungen und Entwicklungen erhärtet wurden.

Die angewandte Vorgehensweise impliziert die Konstanz des Zielsystems während des Prognosezeitraumes - eine Annahme, die plausibel erscheint. Ferner wird eine Kontinuität in der Entwicklung derjenigen sozio-ökonomischen Einflußgrößen unterstellt, die auf die betrachteten Zielerträge einwirken, da andernfalls keine Berechtigung zur Übertragung der in der Vergangenheit beobachteten Gesetzmäßigkeiten auf die Zukunft besteht.

6.2 Detailprognose: Entwicklung der Attraktivitätskriterien des Luftverkehrs

6.2.1 Sicherheitsentwicklung

Aufgrund der weltweiten Verflechtung des Luftverkehrs, der weitgehenden Übereinstimmung der international eingesetzten Verkehrsflugzeugtypen sowie der dank der Aktivität der Luftverkehrsverbände IATA+) und ICAO++) eingeführten Normung im Bereich der Flugsicherheit erscheint es zweckmäßig, die Entwicklung dieses Kriteriums, abweichend von der übrigen Vorgehensweise, statt aus nationaler aus internationaler Sicht zu beurteilen und abzuschätzen.

Luftverkehrsunfälle weisen folgende drei Charakteristica auf:

a) Sie sind vergleichsweise selten. Abb. 23a zeigt die Entwicklung der Absolutzahl der Flugunfälle mit Todesfolge als Gesamtzahl aller ICAO-Mitgliedsstaaten (112 Nationen).

b) Sie sind, gemessen an der Zahl der Verkehrstoten je Unfall, meist schwer. In Abb. 23b ist die Entwicklung des jährlichen Mittelwertes der Zahl der Toten je Luftverkehrsunfall dargestellt. (Geltungsbereich: ICAO)

+) IATA = International Air Transport Association

++) ICAO = International Civil Aviation Organisation

c) Die Zahl der Verkehrstoten je Unfall übersteigt bei weitem die der Verletzten. In Abb. 23c wurde der jährliche Mittelwert des Verhältnisses Anzahl der Toten/Anzahl der Verletzten für den Geltungsbereich der IATA dargestellt.

Charakteristisch für die künftige flugtechnische Entwicklung ist weiterhin der Trend zu Flugzeugen mit höherer Transportkapazität, so daß die zu erwartende zunehmende Schwere von Luftverkehrsunfällen durch eine relative (bezüglich der Verkehrsleistung) Absenkung der Zahlen der Unfälle mit Personenschäden kompensiert werden muß. Das Verhältnis von Toten/Verletzten je Verkehrsunfall dürfte, da es weitgehend durch die speziellen Eigenschaften des Transportmediums bestimmt ist, auch weiterhin in den bisher beobachteten Grenzen schwanken.

Die Unfallursachen im Luftverkehr sind für den Bereich der ICAO in Tafel 8 dargestellt. Frühere Untersuchungen (z.B. [59, 60]) zeigen eine ähnliche Häufigkeitsverteilung. Bemerkenswert ist, daß jeweils über 50 % der Unfälle auf die Landephase entfallen bzw. menschliches Versagen als Ursache haben. Als eine entscheidende Einflußgröße wurde die Landegeschwindigkeit ermittelt, die sich durch die Einführung der Strahlverkehrsflugzeuge stark erhöht hat (Abb. 24 [61]).

Der Weg zu höherer Flugsicherheit führt damit zunächst über eine technische Verbesserung des Landevorgangs durch weitgehende bzw. letztlich vollständige Automatisierung (Einführung der Landekategorie II bzw. III. In der Bundesrepublik findet zur Zeit die Umstellung der Flughäfen von Kategorie I auf Kategorie II (Tafel 9) statt.) Mit derartigen Maßnahmen werden sowohl die Flugzeugbesatzung als auch ein Teil der Natureinflüsse wie z.B. Nebel und Dunkelheit als Unfallursache weitgehend ausgeschaltet.

Auch bezüglich der Zuverlässigkeit des Fluggerätes bzw. seiner elektronischen und antriebstechnischen Komponenten (Abb. 25 [62], 26 [63]) sind nach Expertenaussagen weitere Verbesserungen zu erwarten, so daß für die weitere Entwicklung des Kriteriums Flugsicherheit innerhalb des Prognosezeitraumes ein ähnlich günstiger Verlauf zu erwarten ist, wie er in der Vergangenheit zu beobachten war.

Auf der Basis der in Tafel 10 zusammengestellten Werte für die Zahl der im Linienverkehr je Zeiteinheit getöteten und verletzten Passagiere, bezogen auf die entsprechende Verkehrsleistung, wurde eine mathematische Trendextrapolation durchgeführt, wobei die Annäherung der Meßwerte mit Hilfe einer e-Funktion geschah, die von den getesteten Näherungsfunktionen das höchste Bestimmtheitsmaß aufwies (Abb. 27).

Als Wert für die Unfallrate des CTOL-Flugzeugs ergab sich für das Jahr 1980

$$(\text{Anzahl Tote + Verletzte/Pkm})_{CTOL} = 0{,}023 \cdot 10^{-8}$$

entsprechend einer mittleren jährlichen Steigerungsrate von

$$-0{,}011\ (\text{Tote + Verletzte}/10^{8}\ \text{Pkm}).$$

Nach dem gleichen Verfahren erfolgte die Prognose weiterer Sicherheitskenngrößen, deren Ergebnis in Abb. 28 bis 30 dargestellt ist.

Für das V/STOL-Flugzeug kann aufgrund eines in einigen Phasen wesentlich unkomplizierteren Landevorganges (Abb. 31 [64]) mit einer im Vergleich zu einem CTOL-Flugzeug höheren Flugsicherheit gerechnet werden.

Bei Zugrundelegung der genannten Darstellung ergibt sich für das VTOL-Flugzeug eine um insgesamt ca. 85 % einfachere Landung gegenüber dem CTOL-Flugzeug. Unter der Annahme, daß sich diese Abnahme des Schwierigkeitsgrades voll in einen Sicherheitsgewinn umsetzt und daß der Anteil der Landeunfälle an der Gesamtzahl der Flugunfälle weiterhin bei 50 % liegt, kann für den VTOL-Flugverkehr mit einer um 42,5 % höheren Flugsicherheit gerechnet werden. Somit lautet die geschätzte Unfallrate für das Jahr 1980:

$$(\text{Anzahl Tote + Verletzte/Pkm})_{VTOL} = 0{,}0132 \cdot 10^{-8}$$

6.2.2 Schnelligkeitsentwicklung

Die Einflußgrößen auf das Kriterium Schnelligkeit, bei vorgegebener Streckenlänge gemessen in der Reisezeit Haus-Haus, wurden bereits in Tafel 2 dargestellt. Die starke Abhängigkeit von der Reisestreckenlänge, die einige dieser Einflußgrößen aufweisen, kann jedoch hier nicht kontinuierlich über den gesamten Streckenbereich, sondern nur beispielhaft anhand einiger ausgewählter Relationen erfaßt werden. Wenn auch die auf diesen Routen erreichbaren Reisegeschwindigkeiten nicht als repräsentativ für alle Strecken der gleichen Länge gelten können, so darf doch in erster Näherung angenommen werden, daß die in Zukunft wirksam werdenden Geschwindigkeitsänderungen, die ihre Ursachen im allgemeinen technischen Fortschritt haben, auf Routen von vergleichbarer Streckenlänge in ähnlicher Größenordnung wirksam werden.

Folgende Relationen wurden untersucht:

a) Internationale Langstrecke,
   Beispiel: Frankfurt (FRA) - New York (NYC)
   Streckenlänge: 6194 km

b) Innerdeutsche Mittelstrecke,
   Beispiel: München (MUC) - Hamburg (HAM)
   Streckenlänge: 625 km

c) Innerdeutsche Kurzstrecke,
   Beispiel: Köln (CGN) - Frankfurt (FRA)
   Streckenlänge: 139 km.

Hierbei dient die Route a) lediglich dazu, die Auswirkungen der flugtechnischen Entwicklung im Bereich größerer Streckenlängen darzustellen und damit das Gesamtbild des Personenluftverkehrs nach oben abzurunden, während sich ein Attraktivitätsvergleich zwischen dem Flugzeug und anderen Verkehrsmitteln, wie bereits in Abschnitt 2 erläutert, erübrigt, da der Luftverkehr auf dieser Route bzw. generell auf Relationen dieser Länge ohne nennenswerte Konkurrenz ist. Die Prognose konzentriert sich daher bei dieser Strecke auf die flugtechnisch wichtigsten Schnelligkeitskriterien, die Reisegeschwindigkeit und die Blockgeschwindigkeit.

<u>Zu a):</u> Die allgemeine Tendenz der im Verkehrseinsatz erreichten Fluggeschwindigkeit zeigt Abb. 32, aus der erkennbar wird, daß

sich der Trend innerhalb des Prognosezeitraumes in einen Überschall- und einen Unterschallast aufteilen wird, wobei sich letzterer zwar im Sättigungsbereich befindet, bei Berücksichtigung der in Abschnitt 4.4.2 ermittelten flugtechnischen Entwicklungstendenzen aber sein Maximum noch nicht erreicht haben dürfte. Abb. 32 zeigt ferner die enge Korrelation, die zwischen militärischer und ziviler Luftfahrt besteht. Beide Sparten weisen eien weitgehend analoge, um eine Zeitdifferenz von $\Delta t \approx 12$ Jahre verschobene Geschwindigkeitsentwicklung auf, eine Gesetzmäßigkeit, die bereits eine erste überschlägige Abschätzung des weiteren Entwicklungsverlaufes ermöglicht.

Steigerungen der Fluggeschwindigkeit werden im Prognosezeitraum hauptsächlich im Langstreckenverkehr ihre Auswirkungen haben und dort zu einer starken Absenkung der Blockzeiten führen. Zur Prognose der Blockzeit auf der Relation Frankfurt-New York wurden im Rahmen einer vom Autor mitbetreuten Studienarbeit [65] folgende Methoden benutzt:

1. Direkte Prognose der Zielgröße "Blockzeit" durch mathematische Trendextrapolation (Tafel 11, Abb. 33)

2. Korrelationsrechnung zwischen der Blockzeit und der per Trendextrapolation prognostizierten Reisefluggeschwindigkeit (Abb. 34).

3. Korrelationsrechnung zwischen der Blockzeit und der Reisefluggeschwindigkeit, wobei die Entwicklung der letztgenannten Größe mit Hilfe einer Modellprognose abgeschätzt wurde (Einflußgrößen: Widerstandsbeiwert $c_{W,R}$, Auftriebsbeiwert $c_{A,R}$, Leistungsgewicht $(N/G)_R$ und Reiseschub S_R) (Abb. 34 [35])+).

Zu Abb. 34 sind folgende ergänzende Anmerkungen erforderlich: Die Darstellung zeigt den über eine Korrelationsrechnung angenäherten Kurvenverlauf der Abhängigkeit, die zwischen der Entwicklung der laut internationaler Flugplanstatistik realisierten kürzesten Blockzeit auf der vorgegebenen Strecke (Tafel 11) und der generellen Entwicklung der Flugzeugreisegeschwindigkeit (Tafel 12) besteht.

Diese Blockzeit enthält gegebenenfalls Umsteige- und Wartezeiten, wenn für den gleichen Zeitpunkt kein Direktflug angeboten wurde. Die Abb. 34 zugrunde gelegten Blockzeit- und Fluggeschwindigkeitswerte müssen sich nicht unbedingt jeweils auf den gleichen Flugzeugtyp beziehen. Die Darstellung enthält damit implizit alle Einflüsse technischer, wirtschaftlicher, organisatorischer und politischer Art, die auf die im praktischen Verkehrseinsatz verwirklichte Blockzeit einwirken und dafür verantwortlich sind, daß sich letztere teilweise erheblich von den dem jeweiligen technischen Stand entsprechenden theoretischen Blockzeiten unterscheidet.

+) Entscheidend für die Geschwindigkeitsentwicklung ist das Verhältnis $c_{W,R}/c_{A,R} = \varepsilon$ (ε = Gleitzahl)

Da sich die laut Flugplan erreichte Blockzeit als Funktion der Fluggeschwindigkeit sehr sprunghaft, d.h. in wenigen großen Stufen, entsprechend der Einsatzdauer und dem technischen Fortschritt einer Flugzeuggeneration entwickelt hat, ergibt der durch Minimierung der Abweichungsquadrate ermittelte Kurvenverlauf nur eine verhältnismäßig grobe Annäherung.

Neben den in [65] untersuchten Verfahren wurde noch eine weitere Methode getestet:

4. Korrelation zwischen der Blockzeit und der Reisefluggeschwindigkeit, wobei letztere mit Hilfe einer multiplen Regressionsrechnung prognostiziert wurde (Einflußgrößen: Triebwerksleistung N_R, Flächenbelastung G_R/F) (Abb. 34 [36]).

Die Ausgangsdaten und Näherungsfunktionen für die Methoden 2 bis 4 sind in Tafel 12 zusammengestellt.

Zu b) und c): Beispielhaft für die Relationen Köln-Frankfurt und München-Hamburg zeigt Tafel 13 eine Zusammenstellung aller Zielerträge der Kriterien, die für die Reisezeit von Stadtzentrum zu Stadtzentrum von Bedeutung sind. Während die Untersuchung des bisherigen Entwicklungsverlaufes dieser Zielerträge weitgehend auf der Basis einschlägiger Kursbücher [66, 67] erfolgte, die neben den Blockzeiten und den Wartezeiten auch Angaben über Zubringerzeit und Abfertigungszeit (Check-in-Zeit) enthalten, liegen der Prognose Annahmen zugrunde, die kurz erläutert werden sollen.

Zubringerzeit: Bei einer Abschätzung der Zubringerzeit sind folgende Tendenzen zu berücksichtigen:

1. Flughafen-Neuanlagen für den CTOL-Luftverkehr entstehen meist in größerer Entfernung vom Stadtzentrum als die Flughäfen liegen, die sie ersetzen. Dies zeigen u.a. die Beispiele München II und Hamburg-Kaltenkirchen, wobei sich diese Entwicklung in München zahlenmäßig wie folgt äußert:

Verkehrsflughafen	Entfernung vom Stadtzentrum
Oberwiesenfeld	4 km
Riem (München I)	9 km
Erding (München II)	27 km

   Die Mehrzahl aller Verkehrsflughäfen liegt bei weltweiter Betrachtung zur Zeit in einem Entfernungsbereich von 10 bis 15 km vom Stadtzentrum [68].

2. Da der weitaus größte Teil der Flughafen-Zubringerdienste im Straßenverkehr geleistet wird (Flughafen-Bus, Taxi, privater PKW), überlagern sich die hier vorhandenen Probleme teilweise dem Luftverkehr.

Als Gegenmaßnahmen bieten sich der verstärkte Bau von leistungsfähigen Schnellstraßen oder aber die Anbindung der Flughäfen an das Schienenverkehrssystem an. Die letztgenannte Maßnahme wurde in Frankfurt bereits realisiert und befindet sich bei den Flughäfen Hamburg-Kaltenkirchen, München II und Köln-Bonn im Stadium

der Voruntersuchung ([52] S. 72). Bei den genannten gegenläufigen Tendenzen dürften kaum größere Änderungen gegenüber der heutigen Situation bezüglich der Zubringerzeit zu erwarten sein.

Eine neue Ausgangslage würde jedoch mit der Verwirklichung eines V/STOL-Verkehrssystems mit stadtnahen Flughäfen in Entfernungen von 5 bis 7 km vom Stadtzentrum geschaffen, wobei etwa mit einer Halbierung der zum gleichen Zeitpunkt im CTOL-Luftverkehr üblichen Zubringerzeiten gerechnet werden dürfte.

Die Prognose von Abfertigungs-, Ein- und Aussteige- sowie Puffer- und Wartezeit basiert im wesentlichen auf Annahmen von Buschhorn [27]. Die entscheidenden Prämissen sind hierbei ein Wegfall der Abfertigungszeit im innerdeutschen Luftverkehr durch Abschaffung des derzeitigen Buchungssystems und eine Abnahme der Pufferzeit, beides teilweise zu Lasten einer Vergrößerung der Zusteigezeit, die bisher in der Check-in-Zeit enthalten war. Eine Abnahme der mittleren Wartezeit setzt eine Erhöhung der Flugfrequenz voraus, wobei hier insbesondere die Tagesrandzonen von Interesse sind.

Die Blockgeschwindigkeit eines Flugzeuges wird nach Abb. 37 bestimmt durch die Steig-, Sink- und Reisefluggeschwindigkeit dieses Verkehrsmittels sowie durch die Kapazität der Verkehrsanlagen und -wege, die gegebenenfalls Zeitverluste bei Start, Landung und Zonenfreigabe verursachen kann. Nach [69] ergibt sich die Blockzeit in erster Näherung wie folgt:

$$\text{Blockzeit } t_B = \frac{\text{Reiseentfernung}}{\text{Reisefluggeschwindigkeit}} + 30 \text{ min.}^{+)}$$

Zur Prognose der Blockzeiten stehen wiederum die Verfahren zur Verfügung, die bereits bei der Untersuchung der Relation a) benutzt wurden. Die Abb. 38 und 39 zeigen die unter Zugrundelegung der Zahlenwerte aus Tafel 14 und 15 durchgeführte Trendextrapolation der minimalen Blockzeit, während die Abb. 40 und 41 das Ergebnis der kombinierten Anwendung der Korrelationsrechnung mit einer Trendextrapolation bzw. Modellprognose der Fluggeschwindigkeit (Abb. 42) wiedergeben, denen die Zahlenwerte und Näherungsfunktionen aus Tafel 16 zugrunde liegen. Die Prognose ergibt für die Kurzstrecke Köln-Frankfurt und auch für die Mittelstrecke München-Hamburg noch eine geringfügige Abnahme der Blockzeit.

Bei den Abb. 40 und 41 handelt es sich wiederum um eine mathematisch angenäherte Darstellung der Abhängigkeit der im praktischen Verkehrseinsatz realisierten Blockzeiten (incl. Umsteige- und Wartezeit, falls kein Direktflug angeboten wurde), von der theoretisch verfügbaren Reisefluggeschwindigkeit.

Das Blockgeschwindigkeitsdiagramm der voraussichtlich in den siebziger Jahren verfügbaren Flugzeugtypen (Abb. 43) bestätigt diese Annahme. Das Diagramm zeigt die theoretisch erreichbaren

---

+) Zu dieser Blockzeit sind gegebenenfalls noch Umsteige- und Wartezeiten hinzuzufügen.

Blockgeschwindigkeiten, die, wie am Beispiel des Typs Boeing 737 auf den untersuchten Strecken erkennbar wird, im praktischen Verkehrseinsatz um ca. 15 % unterboten werden. Die geringfügig erhöhte Blockgeschwindigkeit auf der Strecke Köln-Frankfurt wäre im CTOL-Luftverkehr durch den Einsatz der VFW-Fokker 614 zu erreichen, während für die Strecke München-Hamburg vermutlich kein Flugzeug zur Verfügung stehen wird, das eine wesentlich höhere Blockgeschwindigkeit als die Boeing 737 besitzt. Auch ein strahlgetriebenes VTOL-Projekt wird, wie Abb. 43 zeigt, bezüglich der reinen Blockzeit nur im Kurzstreckenbereich Verbesserungen bringen.

Auskunft über die Pünktlichkeit im Luftverkehr gibt Abb. 44 [70]. Lediglich 3,5 % der Flüge weisen Verspätungen von mehr als einer Minute auf. Zahlenwerte über die Höhe der durchschnittlichen Verspätung enthalten einige Untersuchungen aus den USA [71, 72]. Demnach lag die durchschnittliche Gesamtverspätung, die bei auf dem JFK-Flughafen New York landenden Flugzeugen ermittelt wurde, 1965 bei 10 Minuten und 1968 bei 25 Minuten. Abb. 45 zeigt, wie sich diese Verspätungen, die nahezu ausschließlich auf die mangelnde Kapazität der Flughäfen zurückzuführen sind, für einen Linienflug Los Angeles-New York in einen start- und einen landungsbedingten Anteil aufgliedern. Ein Vergleich zwischen den Passagierzahlen des verkehrsreichsten amerikanischen und deutschen Flughafens sowie zwischen der Anzahl und Größe der jeweils zur Verfügung stehenden Startbahnen (Tafel 17) läßt jedoch erwarten, daß das Problem der Pünktlichkeit im deutschen Luftverkehr eine wesentlich geringere Bedeutung besitzt als auf amerikanischen Flugstrecken.

Für die Höhe des Zeitwertfaktors sind maßgebend:

a) die zeitliche Lage der Verbindung,

b) die Gesamtdauer der Reise, inclusive Warte- und Nebenzeiten.

Bei günstigster zeitlicher Lage nimmt der Zeitwertfaktor nach Abb. 10 für die Tagesrandverbindungen folgende Werte an:

morgens:	Fahrtdauer:	Zeitwertfaktor:
	1 h	1
	2 h	1,5
	3 h	1,7
	4 h	2

abends:	Fahrtdauer:	Zeitwertfaktor:
	1 h	1
	2 h	1
	3 h	1,3
	4 h	1,5

An diesen Grenzen hat sich die Prognose des Zeitwertfaktors für den Luftverkehr zu orientieren, wobei für den VTOL-Verkehr eine Verkürzung der Gesamtreisezeit und, teilweise dadurch bedingt, eine günstige Fahrplangestaltung erwartet werden darf, Maßnahmen,

die in einer Reduktion des Zeitwertfaktors im Vergleich zu demjenigen des CTOL-Luftverkehrs ihren Niederschlag finden werden.

6.2.3 Bequemlichkeits-(Komfort-)Entwicklung

Es sind keine Anzeichen erkennbar, durch die erwähnenswerte Abweichungen des seit Beginn des Jet-Zeitalters weitgehend in konstant bleibender Niveauhöhe verlaufenden Trends der Flugbequemlichkeit zu erwarten sind.

Bezüglich Raumtemperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftzusammensetzung und Frischluftzufuhr liegen in den vollklimatisierten Druckkabinen moderner Verkehrsflugzeuge ideale Verhältnisse vor, die ebenso im Bereich der in Tafel 3 abgegrenzten Behaglichkeitszone liegen, wie die Werte für Schallpegel, Vibration, Erschütterung und Beschleunigung, die lediglich bei Start und Landung einmal kurzfristig überschritten werden können.

Auch bezüglich der übrigen Bequemlichkeitskriterien (Abb. 9) wie: Sitzplatz (garantiert vorhanden), Gepäckmitnahme (begrenzt), Bewegungsfläche (gering), Niveau der Ausstattung und des Service (hoch), kann ein gleichbleibender Entwicklungsverlauf unterstellt werden.

Eine Zusammenstellung der Zielerträge des Attraktivitätskriteriums Bequemlichkeit/Komfort, die somit in erster Näherung für den Ist- und den Prognosezeitpunkt und auch gleichzeitig für den CTOL- und VTOL-Luftverkehr gilt, zeigt Tafel 18. Die dieser Zusammenstellung zugrunde gelegten Werte gelten für die Economy-Klasse. Die Werte für die 1. Klasse unterscheiden sich hauptsächlich bei den Kriterien: Bewegungsfläche (größerer Sitzabstand), höheres Ausstattungsniveau (wertvollere Innenraumgestaltung, bessere Sitze) und besserer Service (z.B. anspruchsvollere Verpflegung). Da jedoch die Benutzer der 1. Flugzeugklasse im statistischen Sinne keinen bedeutungsvollen Bevölkerungsanteil darstellen und ihnen aus der Sicht eines repräsentativen Bevölkerungsquerschnitts keine rationale Verhaltensweise unterstellt werden kann, da lediglich die bessere Ausprägung einiger untergeordneter Attraktivitätskriterien mit erheblichem Aufpreis bezahlt werden muß, beschränkt sich die weitere Untersuchung auf die in Tafel 18 zusammengefaßten Werte.

Für den Bereich des internationalen Linienluftverkehrs ist zu ergänzen, daß bezüglich der Ausprägung der Bequemlichkeitskriterien für alle der IATA angeschlossenen Gesellschaften eine Normung existiert, die von dieser Organisation, die neben einem Preis- auch ein Konditionenkartell darstellt [73], streng überwacht wird.

6.2.4 Tarifentwicklung

Die Tarifgestaltung des Linienluftverkehrs erfolgt im internationalen und im nationalen Bereich nach unterschiedlichen Mechanismen. Die Flugtarife auf internationalen Strecken unterliegen dem IATA-Preiskartell+). Sie werden auf den regionalen IATA-Verkehrskonferenzen:

+) Eine Ausnahme bilden die nicht in der IATA vertretenen Fluggesellschaften, die ca. 10 % der Linienluftverkehrsleistungen erbringen.

(Konferenzgebiet I: Nord- u. Südamerika, Grönland und Hawaii,

Konferenzgebiet II: Europa, Afrika, Naher u. Mittlerer Osten incl. Iran,

Konferenzgebiet III: Asien, Australien, Pazifische Inseln)

auf einstimmigen Beschluß aller in diesen Gebieten operierenden, in der IATA zusammengeschlossenen Verkehrsgesellschaften, vorbehaltlich der Genehmigung durch die entsprechenden Regierungen, fixiert; kommt diese Einstimmigkeit nicht zustande, tritt eine "open-rate-situation" ein, die es den Fluggesellschaften ermöglicht, die Flugtarife nach eigenem Ermessen festzulegen [73] . Dieser Zustand dauert solange an, bis durch Verhandlungen der nationalen Fluggesellschaften untereinander oder durch Intervention der Regierungen ein Kompromiß zustande kommt.

Im nationalen Bereich liegen in der Regel ebenfalls gebundene Preise vor, deren Festlegung durch die nationalen Fluggesellschaften von einer staatlichen Genehmigung abhängt. Meist handelt es sich dabei um Mindestpreise, die von den Verkehrsunternehmern nicht unterschritten werden dürfen ([34] S. 49, 50).

Die Luftverkehrstarife stellen ein wichtiges Mittel der Verkehrspolitik dar, sie unterliegen sowohl der gesamtwirtschaftlichen Zielsetzung einer optimalen Bedarfsdeckung als dem von Staat und Regierung für den nationalen Bereich und von der Dachorganisation Luftverkehr treibender Staaten, der ICAO, für den internationalen Bereich formulierten Ziel, als auch den einzelwirtschaftlichen Bestrebungen der Luftverkehrs- und Flughafengesellschaften, die auf Gewinnmaximierung, Sicherstellung eines angemessenen Gewinnes oder Kostendeckung ausgerichtet sind.

Allseitiges Minimalziel ist das Erreichen einer möglichst weitgehenden Kostendeckung, so daß die Tarifgestaltung außer verkehrspolitischen Einflüssen auch den Einwirkungen unterliegt, die der technische Fortschritt auf die Wirtschaftlichkeit des Verkehrsmittels bzw. des Verkehrssystems ausübt und die in der Höhe der verkehrsleistungsbezogenen Betriebskosten ihren Niederschlag finden.

Eine Aufteilung der im Luftverkehr anfallenden Betriebskosten nach direkten und indirekten Kosten enthält Abb. 46 [74] , die gleichzeitig die langfristige Entwicklung dieser Kostenanteile für den Bereich der ICAO zeigt. Die Betriebskosten je verfügbarer Pkm+) bzw. Tkm+) werden bestimmt durch die Flugzeugproduktivität, gemessen in: verfügbare Tkm bzw. Pkm je Stunde und je Flugzeug und durch die Betriebskosten je Stunde und je Flugzeug. Der im Vergleich zum bisherigen Entwicklungsverlauf der stündlichen Flugzeugbetriebskosten wesentlich steilere Anstieg des Trends der Flugzeugproduktivität führte in dem letzten Jahrzehnt zu einem ständigen Absinken der Betriebskosten je angebotenem Tkm (Abb. 47).

+) 1 Tkm = erforderliche Verkehrsarbeit zum Transport eines Gewichtes von 1 Tonne über eine Entfernung von 1 km; bei einem Norm-Gewicht von 80kp je Passagier u. 20kp Gepäck je Passagier gilt 1 Tkm = 10 Pkm

Diese Entwicklung diente als Basis für eine Tarifprognose der ICAO [75] , deren Ergebnis in Abb. 48 dargestellt ist. Diese Prognose in US-Dollarpreisen von 1967 gilt für den Tarifmittelwert aller von ICAO-Mitgliedsstaaten beflogenen Relationen unter der Annahme, daß die durch die SST- und VTOL-Flugzeugtypen der ersten Generation verursachte Betriebskostenerhöhung durch den Einsatz von Großraumflugzeugen mit, bedingt durch ihre gesteigerte Produktivität, wesentlich geringeren Betriebskosten mehr als kompensiert wird. Ferner wird, wie bei allen Prognosen dieser Art, eine anhaltende Stabilität der politischen und wirtschaftlichen Umwelteinflüsse vorausgesetzt. Unter diesen Prämissen wird mit einer jährlichen Senkung des Tarif-Mittelwertes um 0 bis 4 % gerechnet, bezogen auf das Preisniveau von 1967.

Im Hinblick auf die in der vorliegenden Untersuchung berücksichtigten Routen sind im Prognosezeitraum unterschiedliche Tendenzen zu erwarten, die sich bereits in der Vergangenheit abzeichneten.

Abb. 49 und Tafel 19 zeigen die Tarifentwicklung im Nordatlantikverkehr auf der Route Frankfurt-New York und eine daraus abgeleitete Trendprognose. Der Linienluftverkehr im Bereich des Nordatlantiks unterliegt einem ständig zunehmenden Preisdruck durch die freien Chartergesellschaften, der befürchten läßt, daß diese verkehrsreichste und bis in die jüngste Zeit auch gewinnbringende Strecke des planmäßigen Luftverkehrs von letzterem in Kürze nicht mehr kostendeckend beflogen werden kann [76] . Die Gründe für diese Situation sind der im Vergleich zu den Chartergesellschaften niedrige Mittelwert und die erheblichen saisonalen Schwankungen des Sitzladefaktors der Linienverkehrsgesellschaften (Abb. 50), dem durch tarifliche Sonderarrangements in Zeiten geringer Nachfrage begegnet werden muß.

Mit Einführung der SST-Flugtechnik im Transatlantikverkehr wird sich der Tariftrend für die Nordatlantikroute vermutlich gabeln, da die erhöhten Betriebskosten, bezogen auf die Flugzeugproduktivität, für diese Verkehrsart mit an den Verkehrskunden weitergegeben werden müssen. Die Vorstellungen über eine mögliche Tariferhöhung gegenüber dem konventionellen Luftverkehr bewegen sich in einem Bereich von 10 bis 35 % ([28] S. 269, 270), wobei, wie Abb. 51 [77] zeigt, ein hoher Prozentsatz von Geschäftsreisenden auch dann noch bereit ist, dem SST-Flugzeug den Vorzug gegenüber einem Unterschallflugzeug zu geben.

Zunehmende Schwierigkeiten in Form abnehmender Gewinne im Nordatlantikverkehr werden die Linienluftverkehrsgesellschaften veranlassen, einen Tarifausgleich auf Relationen zu suchen, wo der Preisdruck der Konkurrenten weniger fühlbar ist.

Hierzu zählt der Mittelstrecken-Bereich, in dem der erzielbare Zeitvorsprung des Luftverkehrs im Vergleich zu seinen Konkurrenten, dem Straßen- und Schienenverkehr, zur bestimmenden Einflußgröße wird. Abb. 52 und Tafel 20 zeigen die bisherige, durch einen leichten Anstieg gekennzeichnete Tarifentwicklung und den geschätzten weiteren Entwicklungsverlauf für die Flugstrecke München-Hamburg.

Die Luftverbindung Köln-Frankfurt ist nur als Langstreckenzubringerverbindung und als Teilstück weiterreichender Fluglinien von Bedeutung. Ein kostendeckender Flugbetrieb auf Strecken dieser Größenordnung kann mit CTOL-Flugzeugtypen nicht erwartet

werden und erscheint auch mit VTOL-Typen fraglich. Die langsam ansteigende Tarifentwicklung auf dieser Relation (Abb. 53, Tafel 21) orientiert sich daher mehr an dem Gedanken, das Defizit auf dieser Strecke in vertretbaren Grenzen zu halten, als an einem Preiskampf mit den Konkurrenten Straßen- und Schienenverkehr.

Wie die Rahmenanforderungen an ein nationales VSTOL-Projekt (Tafel 6) zeigen, werden die direkten Betriebskosten von VSTOL-Flugzeugen bis ca. 50 % über denjenigen der Boeing 737 liegen, ein Kostenanstieg, der für die Fluggesellschaften kaum durch die zu erwartende Abnahme der indirekten Betriebskosten zu kompensieren sein wird, so daß im Vergleich zum CTOL-Luftverkehr mit einer Tariferhöhung bei Einführung dieser neuen Technologie zu rechnen ist, die auf 10 bis 20 % geschätzt wird.

6.3 Prognose: Entwicklung der Attraktivitätskriterien des Straßen- und Schienenverkehrs

6.3.1 Sicherheitsentwicklung

Eine Zusammenstellung statistisch ermittelter Daten über die bisherige Entwicklung der Verkehrssicherheit, gemessen als Zahl der innerhalb des jeweils betrachteten Fahrzeugs getöteten und verletzten Reisenden je Verkehrsleistungseinheit, sowie das Ergebnis einer Schätzung für den Prognosezeitpunkt 1980 zeigt Tafel 22.

Die Sicherheitsanforderungen für den Bau und Betrieb von Straßen- und Schienenverkehrsmitteln sind in der Straßenverkehrs-Zulassungsordnung (StVZO) bzw. in Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO) fixiert. Die hier verankerten Vorschriften reichten bisher jedoch nicht aus, die durch die unterschiedlichen Konstruktionsprinzipien dieser Verkehrsmittel bedingten Unsicherheitsfaktoren auszugleichen, was auch vermutlich im betrachteten Prognosezeitraum nicht der Fall sein wird.

Diese grundlegenden Unterschiede mit unmittelbarer Rückwirkung auf die Verkehrssicherheit der Verkehrsmittel sind:

1. Unterschiedliche Spurhaltung:
Der erzwungenen Spurführung des Schienenverkehrsmittels mit Hilfe von Spurkranz und Schiene steht beim Kraftwagen die Spurhaftung zwischen Reifen und Fahrbahn gegenüber, die wegen der vergleichsweise geringen Aufnahmefähigkeit von Seitenkräften und wegen der großen Witterungsabhängigkeit einen wesentlich höheren Grad an Unzuverlässigkeit aufweist.

2. Unterschiedliche Steuerung und Regelung:
Während beim PKW Steuerung und Regelung nahezu ausschließlich in der Selbstverantwortung des Fahrers liegen und damit entsprechend der Fehlerwahrscheinlichkeit menschlicher Reaktionen zu einer potentiellen Gefahrenquelle werden, besteht im Schienenverkehr bereits eine weitgehende Automatisierung des Betriebsablaufs, z.B. durch Selbstblock und induktive Zugbeeinflussung [78].

3. Unterschiedliche Sicherheitskontrolle:
Neben der einmaligen Eignungsprüfung beim Führerscheinerwerb bestehen die Maßnahmen zur Sicherheitsüberwachung im PKW-Verkehr im wesentlichen aus stichprobenhaften Kontrollen der Verkehrs-

polizei und aus den zweijährlichen Routineuntersuchungen des Fahrzeugs durch die Technischen Überwachungsvereine. Demgegenüber unterliegen Lokomotivführer während der Zugfahrt einer ständigen Kontrolle durch die Sicherheitsfahrschaltung (Sifa) oder induktive Sicherungssysteme [79] und darüber hinaus einer periodischen Überwachung ihrer physischen und psychischen Tauglichkeit durch ärztliche Untersuchungen [80].

Berücksichtigt man die gegenüber dem PKW wesentlich höhere Beförderungskapazität der Eisenbahn und die hieraus resultierende erhöhte Gefahr von Massenunfällen, so wird ersichtlich, daß im Schienenverkehr extreme Sicherheitsvorschriften und -maßnahmen von besonders vorrangiger Bedeutung sind.

Folgende Möglichkeiten zur Steigerung der Sicherheit im PKW- und Eisenbahnverkehr bieten sich für die nähere Zukunft an bzw. sind bereits geplant oder in Ausführung:

a) PKW-Verkehr:

Konstruktive Maßnahmen zur Erhöhung der Unfallsicherheit des PKW, wie Einbau von starren Fahrgastzellen, Knautschzonen, Sicherheitslenksäule, Rückblick-Periskop, blockiersicheren Bremsen, Auffangvorrichtung für die Insassen (Fangnetz, Luftsack o.ä.) hydraulischen Stoßfängern [81], Scheiben-Trennvorrichtungen usw.,

zunehmende Automatisierung des Fahrbetriebs, z.B. durch Getriebeautomatik und automatische Lenkkorrektur bei Straßenunebenheiten und Seitenwind, automatische Abstandsregelung,

periodische ärztliche Untersuchungen bzw. Tauglichkeitstests für Kraftfahrer,

Abbau von Gefahrenstellen im Straßennetz,

Verbesserung der Fahrbahndecke (z.B. hinsichtlich Wasserabfluß und Reifenhaftung) bzw. der Fahrbahnausrüstung (z.B. Fahrbahnbeleuchtung, Fahrbahnenteisung, Errichtung von Blendzäunen, Wildschutzvorrichtungen usw.).

b) Eisenbahn-Verkehr:

Konstruktive Maßnahmen zur Erhöhung der Unfallsicherheit der Reisewagen, wie Einbau automatisch öffnender und schließender Türen, starrer Fahrgastzellen mit Knautschzonen,

zunehmende Automatisierung des Betriebsablaufs durch verstärkten Einbau von Vorrichtungen zur induktiven Zugbeeinflussung bzw. Vollautomatisierung mit Hilfe der Linienzugbeeinflussung,

Einrichtung eines Zugbahnfunknetzes zur Übermittlung unvorhergesehener Betriebsereignisse zwischen dem Zug und der zentralen Betriebsleitstelle [79].

Abbau der Gefahrenstellen im Schienennetz durch Vergrößerung der Kurvenradien und Verlegung höhengleicher Bahnübergänge,

Verstärkung des Gleisoberbaus durch Verwendung schwererer Schienen und Verkürzung des Schwellenabstandes, Verbesserung der Kontrollverfahren für Spurweite, Verwindung und Krümmung der Gleisanlagen [78].

Von dem Projekt Hochleistungsschnellbahn darf erwartet werden, daß es sich um ein extrem sicheres Verkehrsmittel handeln wird, da im Falle eines betrieblichen Versagens mit erheblich folgenschwereren Unfällen gerechnet werden müßte als bei der konventionellen Eisenbahn, wo das Verhältnis: Anzahl der Toten/Anzahl der Verletzten im letzten Jahrzehnt etwa 0,02 betrug. Hier ist eine Annäherung an die Situation im Linienluftverkehr zu erwarten, bei dem dieses Verhältnis im gleichen Zeitraum etwa in der Größenordnung von 10 lag.

Das Unfallrisiko muß daher durch weitgehende Automatisierung bei entsprechender Redundanz aller entscheidenden Systemkomponenten auf einen extremen Minimalwert reduziert werden.

Welche Möglichkeiten hier bereits bei der konventionellen Eisenbahn bestehen, zeigt das Beispiel der Neuen Tokaido-Linie, auf der es seit ihrer Inbetriebnahme im Jahre 1964 noch zu keinem nennenswerten Unfall gekommen ist [82].

6.3.2 Schnelligkeitsentwicklung

Nennenswerte Geschwindigkeitssteigerungen im PKW-Verkehr werden innerhalb des Prognosezeitraumes nicht erwartet. Die Spitzengeschwindigkeiten von PKWs der gehobenen Preisklasse erreichen bereits heute die 200 km/h-Marke und lassen sich ohne Maßnahmen zur Automatisierung der Fahrzeugsteuerung, -Regelung und Verkehrsüberwachung, d.h. ohne weitgehende Ausschaltung des Menschen innerhalb des Betriebsablaufes, kaum noch steigern.

Ebenso unwahrscheinlich dürfte es sein, daß die Verkehrsverhältnisse im öffentlichen Straßennetz bis zum Prognosezeitpunkt wesentliche Steigerungen der Reisegeschwindigkeit gegenüber dem Ist-Zustand zulassen werden.

Das Verhältnis: Einwohnerzahl/PKW-Bestand, das im Jahre 1970 in der Bundesrepublik 4,4 betrug, wird weiterhin steigen und nach Schätzungen der Mineralöl-Industrie [83] etwa im Jahre 1985 einen Sättigungswert von ca. 3,3 erreichen. Der aus dieser Steigerung sowie aus dem entsprechenden Anstieg des Bestandes der übrigen Straßenverkehrsmittel resultierenden Erhöhung der gesamten Straßenverkehrsleistung, die nach Schätzungen des Ifo-Institutes [84] von 1970 bis 1980 ca. 55 % betragen wird, steht nach Schätzungen des gleichen Institutes ein Anwachsen des klassifizierten Straßennetzes um 37 % im genannten Zeitraum gegenüber. Auch die Mineralöl-Industrie erwartet ein stärkeres Wachstum des Kraftfahrzeugbestandes und der mit diesen Verkehrsmitteln verknüpften Verkehrsleistung als desjenigen des Straßennetzes [85].

Die Situation des Schienenverkehrs weist demgegenüber erhebliche Unterschiede auf, u.a. auch aus dem Grunde, daß sich die Deutsche Bundesbahn bisher mehr an den bestehenden finanziellen als an den technischen Möglichkeiten orientieren mußte. Da jedoch weder der Luft- noch der Individualverkehr unter den Gesichtspunkten der Massenleistungsfähigkeit und der Billigkeit in der Lage sein wird, den innerdeutschen Personenverkehr in Zukunft entscheidend zu entlasten, dürfte mit einer verkehrspolitischen Akzentverschiebung zugunsten des Schienenverkehrs zu rechnen sein [86, 87], die u.a. in einer Verbesserung der finanziellen Basis der Deutschen Bundesbahn ihren Niederschlag finden wird. Auf dieser Grundlage ergeben sich folgende Möglichkeiten zu einer merklichen Anhebung der Reisegeschwindigkeit [55, 88, 89, 90]:

Neue Trassierung von Schienenverbindungen mit den Effekten einer Verkürzung der Reiseentfernung durch gestrecktere Linienführung, einer weitgehenden Vermeidung von Langsamfahrstellen, der Steigerung der Beförderungskapazität des Schienennetzes und der Möglichkeit einer Entmischung des schnellen und langsamen Schienenverkehrs bzw. des Personen- und Güterverkehrs [91].

Kurvenbegradigungen und Abbau von Steigungs- und Langsamfahrstrecken bei bestehenden Schienenverbindungen [91].

Verstärkte Einführung der gleisbogenabhängigen Wagenkastensteuerung zur Erhöhung der zulässigen Kurvengeschwindigkeit [51, 55].

Verstärkung der installierten Antriebsleistung [88, 90] (Gasturbinenantrieb, Dieselantrieb + Gasturbinen-Booster [92], Elektrifizierung).

Verbesserung der aerodynamischen Gestaltung der Züge [89, 90], vermehrter Einsatz von Triebwagenzügen.

Verstärkte Anwendung des Leichtbaus [89, 93].

Verkürzung der Haltezeiten durch Trennung der Ein- und Aussteigerichtung und günstigere Einstiegsgestaltung [90, 93].

Verringerung der Wartezeiten durch Verkürzung der Zugfolgezeiten.

Als Planungsziel für den künftigen Ausbau des Schienenverkehrssystems könnte sich folgende Konzeption durchsetzen:

1. der Aufbau eines Schnellfahrnetzes auf der Basis des 33 Großstädte verbindenden Intercity-Netzes für Spitzengeschwindigkeiten bis 200 km/h und mittleren Geschwindigkeiten von etwa 140 km/h, das in seiner Flächenwirkung durch ein mit Spitzengeschwindigkeiten bis ca. 160 km/h befahrbares Ergänzungsnetz unterstützt wird [94],

2. der Neubau von Ergänzungsstrecken für Maximalgeschwindigkeiten bis 300 km/h [95],

3. der Neubau einer die wichtigsten Aktivitätszentren der BRD berührenden Schnellstfahrlinie nach Art des HSB- oder Transrapid-Projektes für Spitzengeschwindigkeiten von ca. 400 bis 500 km/h und mittlere Geschwindigkeiten von über 300 km/h [96, 97].

Bei dem letztgenannten, nicht konventionellen Schnellstbahnprojekt wäre ferner mit sehr dichten Zugfolgen zu rechnen, die sich positiv auf die mittlere Wartezeit und damit auf die Gesamtreisezeit auswirken [89].

Einen Vergleich der bei Benutzung des betrachteten Straßen- und Schienenverkehrs erforderlichen Reisezeiten für die untersuchten Strecken zeigt Tafel 23.

Die Blockzeitwerte für den Ist-Zeitpunkt basieren auf einer Untersuchung des Allgemeinen Deutschen Automobilclubs [98], wonach die mittlere Blockgeschwindigkeit auf den Autobahnen der

Bundesrepublik 106 km/h beträgt bzw. auf den Fahrplanangaben der Deutschen Bundesbahn [99] . Dabei zeigt es sich, daß das von Scharlach entwickelte Verfahren zur Gewichtung der Reisezeit hinsichtlich Fahrplangünstigkeit sowohl für den PKW als auch für den Schienenverkehr zum gegenwärtigen Zeitpunkt auf längeren Strecken, wie z.B. München-Hamburg, nicht anwendbar ist, worauf bereits von anderer Stelle [100] hingewiesen wurde.

Der Grund liegt in der zu geringen Blockgeschwindigkeit dieser Verkehrsmittel, die Reisezeiten ergibt, die weit in die in Abb. 10 dargestellte private bzw. berufliche Kernzone hineinreichen und bei den dem Scharlach'schen Bewertungsverfahren zugrunde liegenden Eintagesreisen zu nicht mehr akzeptierbaren gewichteten Reisezeiten führen.

Wegen der nicht mehr gegebenen vollständigen Vergleichbarkeit scheidet im strengen Sinne der PKW auf der vorgenannten Relation als Alternative zum Flugzeug aus; für die Eisenbahn gilt gleiches, sofern man, was hier unterstellt wird, nicht bereit ist, eine Schlafwagenfahrt als vollwertigen Ersatz für eine häusliche Übernachtung zu akzeptieren.

Die theoretisch bestehende Möglichkeit, mit Hilfe des Schlafwagens die Reisezeit ganz oder teilweise für private Zwecke zu nutzen und damit entsprechend zu reduzieren, wird im innerdeutschen Verkehr mit steigender Reisegeschwindigkeit zunehmend an Bedeutung verlieren, da die erforderlichen Reisezeiten unter die normalerweise zum Schlafen gewünschte Zeitdauer absinken werden.

Dieser Entwicklung, d.h. der Akzentverschiebung innerhalb des Schlafwagenverkehrs vom binnenländischen auf den grenzüberschreitenden Verkehr, dient die Gründung eines europäischen Schlafwagenpools, mit dessen Hilfe das Schlafwagenangebot für längere Zugläufe koordiniert werden soll [101] .

Als mittlerer Schätzwert für die Blockgeschwindigkeit zum Prognosezeitpunkt wurde für den PKW-Verkehr ein Wert von 106 km/h und für den konventionellen Schienenverkehr ein Betrag von 140 km/h zugrunde gelegt, während eine Trendextrapolation nach Abb. 54 einen Betrag liefert, der als pessimistischer Grenzwert aufgefaßt werden kann.

Für das Schnellstbahn-Projekt wurde in Tafel 23 eine Blockgeschwindigkeit von 300 km/h und eine Trassenführung zugrunde gelegt, die bei rd. 1.000 km Länge von München durch das Rhein-Main-Gebiet nach Frankfurt bzw. Köln und von dort durch das Ruhrgebiet nach Hamburg führt.

6.3.3 Bequemlichkeitsentwicklung

Bezüglich des Attraktivitätskriteriums Bequemlichkeit/Komfort werden sowohl für den hier betrachteten PKW der gehobenen Komfortklasse als auch für die Eisenbahn (TEE bzw. Intercity-Zug) keine Änderungen der Zielerträge erwartet, die aus der Sicht des Kunden von nennenswertem Einfluß auf die Verkehrsmittelwahl sind.

Im Rahmen der jeweils gegebenen Möglichkeiten besitzt die Ausprägung dieses Merkmales bei beiden Verkehrsmitteln bereits ein sehr hohes Niveau. Gewisse Komfortsteigerungen beim PKW erscheinen noch möglich bei vermehrtem Einbau von Klimaanlagen und

verstärkten Maßnahmen zur Abgasentgiftung, bei Verbesserungen an Federung und Fahrwerksaufhängung [102], während bei der Eisenbahn durch nicht-konventionelle Sitzanordnung und besonders reichhaltige Ausstattung nach Art der österreichischen K-Wagen [103], (K = Komfort; Wagen dieser Klasse verfügen über Abteile für 3 bis 6 Personen und enthalten u.a. Kühlschrank mit Getränken, Musikübertragungsanlage, Telefonverbindung zur bordeigenen Küche) durch Vermehrung der Zugsekretariate, Ermöglichung einer Taxi-Vorbestellung am Zielort per Zugpostfunk [94], Verschönerung der Bahnhofsanlagen u.ä. Detailverbesserungen noch möglich erscheinen. Im Rahmen der UIC+) bemühen sich die europäischen Eisenbahnverwaltungen um ein einheitliches Komfortniveau bzw. um eine Standardisierung des Reisewagenparks durch die Festlegung einheitlicher Normen.

Von einem künftigen deutschen Schnellstbahn-Projekt dürfte ein Komfort- und Bequemlichkeitsniveau zu erwarten sein, das weitgehend demjenigen des Flugzeugs entspricht, jedoch mehr Bewegungsfreiheit ermöglicht und keine Begrenzung der Gepäckmitnahme erfordert.

Tafel 24 zeigt für die genannten Verkehrsmittel eine Zusammenstellung der Zielerträge des Kriteriums Komfort/Bequemlichkeit, die dem Ist-Zeitpunkt entspricht und deren Gültigkeit auch für den Prognosezeitpunkt weitgehend zutreffen dürfte.

6.3.4 Tarifentwicklung

Die derzeitigen Kosten des privaten PKWs sowie ein entsprechender Schätzwert für den Prognosezeitpunkt und die derzeitigen Eisenbahntarife sowie die sich aus einer mathematischen Trendextrapolation nach Abb. 55 ergebenden Prognosewerte, jeweils bezogen auf die untersuchten Relationen Köln-Frankfurt und München-Hamburg, zeigt Tafel 25.

In nahezu allen Kostenbereichen des privaten PKWs findet augenblicklich ein rapider Kostenanstieg statt - eine Tendenz, deren Ende noch nicht abzusehen ist. Von dieser Entwicklung erfaßt sind insbesondere die PKW-Anschaffungspreise, die Mineralölpreise, die Mineralölsteuer, die Versicherungsprämien, die Reparaturkosten und die Garagenmieten.

Nach den Untersuchungen einer Fachzeitschrift [104] stiegen die Autohaltungskosten von 1968 bis 1971 um 30 bis 40 %; für das als repräsentativ für die gehobene Preis- und Komfortklasse angenommene Fahrzeug ergaben sich für eine Jahresleistung von 20.000 km Betriebskosten von 0,3 DM/km ohne bzw. 0,42 DM/km incl. Abschreibung und Verzinsung.

Als pessimistischer Schätzwert für den Prognosezeitpunkt wurde ein Betrag gewählt, dem die gleiche Steigerungsrate zugrunde liegt, wie diejenige, die in den letzten drei Jahren zu beobachten war, während der optimistische Schätzwert 20 % niedriger angesetzt wurde.

Die Tarifgestaltung der Deutschen Bundesbahn unterliegt der Genehmigungspflicht durch die Bundesregierung, die allerdings im Zuge einer weitgehenden Liberalisierung und Entzerrung des

---

+) UIC = Union Internationale des Chemins de Fer Européens

Verkehrsmarktes der Bahn hier einen zunehmenden Spielraum läßt [105] und letzterer durch § 8 des Allgemeinen Eisenbahngesetzes (AEG)+) die Möglichkeit einer marktgerechten Preisbildung gibt.

Auch im innerdeutschen Schienenverkehr muß daher mit einem anhaltenden Tarifanstieg gerechnet werden, wobei die Gründe sowohl in der Personalintensität des Bundesbahn-Betriebs liegen - der Personalkostenanteil der Deutschen Bundesbahn beträgt zur Zeit etwa 70 % der Gesamtkosten [106] - als auch im Zwang zu kostenintensiven Modernisierungsmaßnahmen beim rollenden Material bzw. im Bereich der Infrastruktur. Allein das im Jahre 1971 von der Deutschen Bundesbahn vorgelegte Ausbauprogramm für das Schienennetz, das den Neubau von Strecken in einer Gesamtlänge von 950 km und den Ausbau bestehender Strecken auf einer Länge von 1.250 km vorsieht, erfordert einen Aufwand von ca. 31 Milliarden DM bis zum Jahre 1985 [107].

Diese sowie weitere Investitionsmaßnahmen, die der Vergrößerung und Verbesserung des Leistungsangebotes dienen, werden vermutlich auch dann ihren Niederschlag im Beförderungstarif finden, wenn die laufenden Rationalisierungsmaßnahmen im bisherigen Umfang fortgesetzt werden können und die zu erwartenden Sanierungsmaßnahmen der Bundesregierung die finanzielle Ausgangssituation der Deutschen Bundesbahn entscheidend verbessern. Im vorliegenden Fall wurde das Ergebnis der Tariftrendextrapolation als optimistischer Grenzwert und ein um 20 % höher liegender Betrag als pessimistischer Grenzwert eingesetzt.

Für Vorstellungen über mögliche Fahrpreise eines künftigen Schnellstbahnprojektes existieren nur einige wenige vage Anhaltspunkte.

Soll diese Bahn jedoch, wie beabsichtigt, ein echtes Massenverkehrsmittel werden, und soll es mit ihrer Hilfe gelingen, Kraftfahrer samt ihren Fahrzeugen von der Straße auf die Schiene zu bringen, dann muß dem Kriterium Preis besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Nach Vorstellung von Bäseler (berichtet in [20] S. 59) sollte der Beförderungspreis für eine vierköpfige Familie, inclusive des privaten PKW, nicht über dem Fahrpreis 1. Klasse der konventionellen Schienenbahn liegen. Die Wirtschaftlichkeit des Projektes, das nach Drechsler (berichtet in [89] S. 111) einen Investitionsaufwand von ca. 15 Milliarden DM, nach letzten Schätzungen etwa das Doppelte, erfordern wird, soll durch hohe Reisegeschwindigkeit und dichte Zugfolge, d.h. eine hohe Verkehrsmittel-Produktivität erreicht werden. In Tafel 25 wurde ein pro Person Wert im Bereich von 0,8 bis 1,0 des Fahrpreises der 1. Klasse, wie er sich aus einer Trendextrapolation für den Prognosezeitpunkt ergibt, angenommen.

+) § 8 AEG: "Mit dem Ziel bester Verkehrsbedienung hat die Bundesregierung darauf hinzuwirken, daß die Wettbewerbsbedingungen der Verkehrsträger angeglichen werden, und daß durch marktgerechte Entgelte und einen lauteren Wettbewerb der Verkehrsträger eine volkswirtschaftlich sinnvolle Aufgabenteilung möglich wird. ..."

6.4 Darstellung der Attraktivitätsprofile zum Prognosezeitpunkt

Die Grundlage für eine Attraktivitätsbewertung der konkurrierenden Verkehrsmittel bilden die Zusammenstellungen der Zielerträge für die betrachteten Relationen zum Ist- und zum Prognosezeitpunkt, die in Tafel 26 bis 28 enthalten sind. Dabei wurden bereits alle Zielerträge eliminiert, die bei allen zu vergleichenden Verkehrsmitteln in gleicher Höhe vorhanden sind, die somit vom Verkehrskunden nicht mehr als Attraktivitätsbeitrag, sondern vielmehr als selbstverständliche Voraussetzung empfunden werden.

Die Skalierung der Zielerträge erfolgt mit Hilfe eines linearen Meßmodells, das

a) für die untersuchten unterschiedlichen Streckenlängen

b) für den Ist- und den Prognosezeitpunkt

c) für die optimistischen und pessimistischen Erwartungswerte sowie für die entsprechenden Mittelwerte der Zielerträge

variiert wird (Abb. 56 bis 63).

Die Variation der Skalierung nach c) bewirkt, daß der Mittelwert der Zielerträge nicht mehr der Mittelwert der Zielwerte, d.h. der skalierten Zielerträge ist, die in Tafel 31 bis 34 enthalten sind.

Die Abb. 56 bis 63 zeigen gleichzeitig die Attraktivitätsprofile der betrachteten Verkehrsmittel, wobei aus Gründen der Übersichtlichkeit auf eine Verbindung der die Niveauhöhen der Attraktivitätseigenschaften markierenden Punkte verzichtet wurde.+)

Die Ermittlung der Gewichtungsfaktoren erfolgt unter den bereits in Abschnitt 4.6.3 dargelegten Vorbehalten anhand von 2 Meinungsumfragen, deren Ergebnisse gewisse Gemeinsamkeiten aufweisen, die allerdings durch gezieltere Befragungen noch verstärkt und erhärtet werden müßten. Die beiden genannten Umfragen wurden vom DIVO-Institut, Frankfurt, im Auftrage der Deutschen Lufthansa AG (berichtet in [108]) bzw. vom EMNID-Institut, Berlin, im Auftrage der Landesregierung Nordrhein-Westfalen [18] durchgeführt und ergaben eine prozentuale Stimmenaufteilung für die verschiedenen Attraktivitätskriterien, entsprechend der Bedeutung, die die Befragten diesen Kriterien beimaßen.

Allerdings erlaubt die Art der Fragestellung (Welche dieser Kriterien halten Sie für besonders wichtig für eine dienstlich bzw. motivierte Reise?) keine klare Aussage darüber, ob es sich hier um eine Gewichtung

a) der Attraktivitätskriterien schlechthin

b) der derzeitigen Zielerträge dieser Kriterien

+) Für die Zielkriterien 3 bis 17 wurden in den Abb. 59 bis 63 die gleichen Zielwerte zugrunde gelegt wie in Abb. 58.

c) einer anzustrebenden Steigerung der derzeitigen Zielerträge dieser Kriterien handelt.

Eine Aussagekraft der genannten Umfragen für die vorliegende Untersuchung ist allerdings nur für den Fall gewährleistet, daß angenommen werden kann, daß diese Gewichtung innerhalb des betrachteten Bereichs in erster Näherung weder eine Funktion der Zeit noch eine Funktion des Zielertrags der Attraktivitätskriterien ist.

Die Übertragung der Ergebnisse der beiden Umfragen auf das vorgegebene Zielsystem erlaubt lediglich eine rechnerische Ermittlung der Gewichtungsfaktoren für die Hierarchie-Stufe s = 2 (Abb. 9, Tafel 1a, b) sowie eine globale Zweiteilung der Reisezwecke in einen dienstlichen und einen privaten Anteil. Tafel 29 zeigt eine Zusammenstellung der Gewichtungsfaktoren, wie sie sich für die Zielkriterien der Stufe s = 2 nach den genannten Meinungsumfragen bzw. nach den Mittelwerten aus beiden Befragungen ergeben. Diese Faktoren entstanden dadurch, daß die auf die genannten Kriterien entfallenden Stimmenanteile auf insgesamt 100 Prozent hochgerechnet wurden.

Da die Kriterien Sicherheit und Billigkeit bei der Prognose der Zielerträge nicht weiter aufgegliedert wurden und sich das Kriterium Schnelligkeit über eine vorgegebene mathematische Beziehung gemäß Tafel 2 aus seinen Unterzielen ergibt, sind für die Stufe s = 3 lediglich noch die Gewichtungsfaktoren für die Einflußgrößen auf das Kriterium Bequemlichkeit abzuschätzen. Tafel 30 zeigt die entsprechende Zusammenstellung.

6.5 Darstellung der Attraktivitätsverschiebungen zum Prognosezeitpunkt und Kommentierung des Ergebnisses

Mit Hilfe der skalierten Zielerträge und der in Abschnitt 6.4 näherungsweise ermittelten Gewichtungsfaktoren läßt sich nun, wie in den Tafeln 31 bis 34 dargestellt, für den Ist- und Prognosezeitpunkt die gewichtete Distanz der transformierten Niveauhöhen zwischen den Attraktivitätsprofilen des gemäß der in Abschnitt 4.6.4 gegebenen Definition "idealen" Verkehrsmittels und den realen Verkehrsmitteln berechnen, eine Größe, die unmittelbaren Aufschluß über die Attraktivität dieser Verkehrsmittel gibt und die zu der ebenfalls angegebenen Attraktivitäts-Rangfolge führt.

Einen graphischen Überblick über die bis zum Prognosezeitpunkt zu erwartenden Attraktivitätsverschiebungen gibt Abb. 64. Überraschend erscheint lediglich das schlechte Abschneiden des PKWs, bedingt durch eine im Vergleich zu den übrigen Verkehrsmitteln ungefähr um einen Faktor 100 geringere Sicherheit, die mit einem sehr hohen Gewichtungsfaktor in die Attraktivitätsberechnung eingeht und zu Zweifel an der Realitätsbezogenheit der zugrunde gelegten Meinungsumfragen führt. Da die restlichen Verkehrsmittel bezüglich der Niveauhöhen des Attraktivitätskriteriums Sicherheit weitgehend übereinstimmen, bleibt deren Attraktivitäts-Rangfolge von einem Fehler bei der Ermittlung dieses Gewichtungsfaktors unberührt.

Eine Bewertung der Verkehrsmittel auf der Basis der nur mit Vorbehalten für den vorliegenden Zweck zu akzeptierenden Gewichtungsfaktoren führt zu folgendem Ergebnis:

a) Strecke München-Hamburg
Während zum Ist-Zeitpunkt das CTOL-Flugzeug unabhängig davon, ob die Reise dienstlich oder privat motiviert wird, mit deutlichem Abstand das attraktivste Verkehrsmittel ist, gefolgt von der Eisenbahn (TEE, F- u. D-Zug 1. Kl.) und dem privaten PKW, ginge dieser Rang zum Prognosezeitpunkt je nach Reisezweck an das VSTOL-Flugzeug bzw. an die nicht konventionelle Schnellstbahn verloren, sofern diese Verkehrsmittel bis zum genannten Zeitpunkt zum Einsatz gelangen. Die nächsten Ränge belegen das CTOL-Flugzeug und die Eisenbahn, in weitem Abstand gefolgt von dem privaten PKW.

b) Strecke Köln-Frankfurt
Zum Ist-Zeitpunkt ergibt sich ein klarer Attraktivitätsvorsprung für die Eisenbahn gegenüber den übrigen Verkehrsmitteln, deren Rangfolge sich in Abhängigkeit des Reisezwecks ändert; demgegenüber weist zum Prognosezeitpunkt die nicht konventionelle Schnellstbahn eine konkurrenzlose Attraktivität auf, während die folgenden Ränge je nach Reisezweck durch das VSTOL-Flugzeug bzw. die Eisenbahn eingenommen werden.

Mit Rücksicht auf die Unsicherheiten hinsichtlich der bei der Bewertung nach Tafel 31 bis 34 zugrunde gelegten Gewichtungsfaktoren erfolgt abschließend eine Simulation der Transportattraktivität unter Einführung verschiedener Kombinationen der Gewichtungsfaktoren gemäß Tafel 35. Bei dieser Simulation gehen die Gewichtungsfaktoren für die einzelnen Attraktivitätskriterien mit folgenden Streubereichen in die Attraktivitätsrechnung ein:

Sicherheit	30 bis 50 %
Schnelligkeit	30 bis 50 %
Bequemlichkeit	10 bis 30 %
Preis	10 bis 30 %

Das Ergebnis dieser Berechnung zeigt Abb. 65.

Die Darstellung bezieht sich auf den Prognosezeitpunkt und zeigt u.a., daß auch bei einer Variation der Gewichtungsfaktoren innerhalb des vorgegebenen Streubereichs ein Attraktivitätsvorsprung der übrigen Verkehrsmittel vor dem privaten PKW in dem in der vorliegenden Untersuchung berücksichtigten Streckenbereich vorhanden sein wird.

7. Schlußbemerkung

Auf die Notwendigkeit, im Zusammenhang mit einer verbesserten Verkehrsplanung die Transportqualität bzw. -attraktivität als multidimensionale Zielgröße darstellen zu müssen, wurde bereits in zahlreichen Veröffentlichungen hingewiesen (z.B. [8, 14, 17, 109]). Insbesondere mit der Nutzwertanalyse steht neuerdings ein Verfahren zur Verfügung, das der Aufgabe des Qualitäts- bzw. Attraktivitätsvergleichs von Verkehrsmitteln erheblich besser gerecht werden dürfte, als die bisher hauptsächlich praktizierten eindimensionalen Vergleiche von Attraktivitätskriterien. Unter der Prämisse, daß es gelingt, die psychologischen Bewertungsfaktoren, die für die Gewichtung und Skalierung der Zielerträge benötigt werden, wirklichkeitsnah zu erfassen und daß zumindesten der statistisch relevanten Masse der Verkehrskunden eine rationale Verhaltensweise im Hinblick auf die Verkehrsmittelwahl

unterstellt werden darf, ist von der vorgeschlagenen Vorgehensweise ein Nutzen in Form einer vertieften und verbesserten Einsicht in folgenden Punkten zu erwarten:

a) Unter dem häufig verwendeten Begriff Attraktivität wurde bisher eine nur vage definierte, mit intuitiven und stark differierenden Inhalten versehene Größe verstanden. Die vorliegende Arbeit stellt den Versuch dar, diesen Begriff mit Hilfe einer Attraktivitätsanalyse zu objektivieren und als reproduzierbare Größe darzustellen.

b) Die so gewonnene Attraktivität ist bei Einhaltung der eingangs gemachten Prämissen eine Größe, von der eine hohe Korrelation mit der Nachfragestärke des jeweils verkehrsmittel- und verkehrszweckbezogenen Personenverkehrsaufkommens erwartet werden darf. Eine Prognose von Attraktivitätsverschiebungen kann daher bereits als Basis zur Abschätzung von Nachfrageverschiebungen dienen, eine Schätzung, die in ihrer Genauigkeit allerdings noch nicht für konkrete Planungszwecke ausreicht.

c) Die Attraktivität in der vorliegenden Definition entspricht dem Reziprokwert des verkehrlichen Widerstandes, wie er z.B. bei Anwendung des Gravitationsmodells im Verkehrswesen benötigt wird und bisher nur global mit Reiseentfernung, Reisezeit und/oder Reisekosten beschrieben wurde. Durch Einführung der Transportattraktivität als eine die konkurrierenden Verkehrsmittel in gleicher, umfassender und wirklichkeitsnaher Weise vergleichend beurteilende Größe in ein Verkehrsmodell und durch eine Prognose der Verschiebung des Attraktivitätsabstandes der Verkehrsmittel untereinander wird es möglich, auch Substitutionsvorgänge im Verkehrswesen modellhaft zu erfassen.

d) Die Planung eines neuen Verkehrssystems erfordert eine Nutzwertanalyse aus der Sicht aller wesentlichen Interessentengruppen, d.h. zumindesten aus der Sicht von Staat, Verkehrsunternehmen und Verkehrskunden [17]. Die vorliegende Untersuchung entspricht einer Nutzwertabschätzung vom Standpunkt des Verkehrskunden aus und ermöglicht es, den Nutzen für diese relevanteste Interessentengruppe quantitativ zu erfassen und entsprechend bei der Optimierung des Gesamtnutzens des Verkehrssystems zu berücksichtigen.

e) Eine Systemanalyse, wie sie zur Ermittlung der Transportattraktivität erforderlich ist, führt zu einem detaillierten Überblick über die verschiedenartigen Einflußgrößen des Verkehrssystems, über deren relative Bedeutung sowie die Art der Verknüpfung dieser Variablen untereinander und stellt somit eine wichtige Planungsgrundlage dar.

   Durch die zahlenmäßige Belegung der Einflußgrößen werden Schwächen der mit den einzelnen Verkehrsmitteln verbundenen Untersysteme sichtbar, während eine quantitative Prognose dieser Größen Rückschlüsse über die Entwicklungsfähigkeit bzw. die Leistungsgrenze dieser Untersysteme erlaubt.

f) Für den Fall jedoch, daß eine rationale Verhaltensweise der statistisch relevanten Masse der Verkehrskunden nicht unterstellt werden kann, eine Situation, die in einem liberalen Verkehrssystem eine Planung und Verhaltensprognose weitgehend

ad absurdum führen würde, dürften sich notfalls erforderliche Restriktionen und dirigistische Eingriffe in das Verkehrssystem umso eher rechtfertigen lassen, je intensiver die Bemühungen waren, die Wünsche der Verkehrskunden bei der Planung im Rahmen des Möglichen zu ermitteln und zu berücksichtigen.

8. Zusammenfassung

Gegenstand der vorliegenden Arbeit, die sich im wesentlichen auf den Personenverkehrsmarkt der Bundesrepublik und hierbei insbesondere auf den Intercity-Verkehr konzentriert, ist eine Analyse und Prognose der Attraktivität des Luftverkehrs im Vergleich zu seinen Konkurrenten.

Da in einem weitgehend von liberalen Grundsätzen geprägten Verkehrsmarkt, wie demjenigen der Bundesrepublik, die Attraktivität, die der Kunde einem Verkehrsmittel beimißt, zur entscheidenden Steuergröße für die Stärke der entsprechenden Nachfrage wird und somit auch Substitutionsvorgänge der Verkehrsmittel untereinander maßgebend beeinflußt, ist die quantitative Erfassung und Prognose dieser Größe eine wichtige Voraussetzung für eine wirkungsvolle Planung.

Mit der Nutzwertanalyse dürfte neuerdings eine Methodik zur Verfügung stehen, die in besonderem Maße geeignet erscheint, dem vorliegenden Problem gerecht zu werden, da es mit ihrer Hilfe grundsätzlich möglich ist, die in unterschiedlichen Dimensionen gemessenen Beträge der einzelnen Attraktivitätseigenschaften (Zielerträge) mit Hilfe eines geeigneten Wertsystems in Teilwerte (Zielwerte) umzuwandeln und mit Hilfe einer Wertsynthese unter Berücksichtigung subjektiver Gewichtungsfaktoren zu einem Gesamtwert, d.h. in diesem Falle zur Transportattraktivität zusammenzufügen.

Auf der Basis dieser Methodik wurde das angewandte Verfahren entwickelt, mit dessen Hilfe zum Ist- und zum Prognose-Zeitpunkt das Flugzeug mit alternativ zu diesem benutzbaren Verkehrsmitteln hinsichtlich seiner Attraktivität aus Kundensicht verglichen wird. Zur Prognose der Zielerträge werden u.a. verschiedene mathematisch-statistische Verfahren benutzt, wobei zur Berücksichtigung von Unsicherheiten Streugrenzen eingeführt werden.

Ergebnis der Untersuchung ist die quantitative Darstellung der Attraktivitätsverschiebung, die zwischen dem Flugzeug und den im Intercity-Verkehr mit diesem konkurrierenden Verkehrsmitteln zum Prognosezeitpunkt im Vergleich zum Ist-Zeitpunkt voraussichtlich eintreten wird. Dieser Vorgang wird beispielhaft an zwei Relationen unterschiedlicher Streckenlänge dargestellt.

Literaturverzeichnis

[1] Institut de la Communauté Européenne pour les Etudes Universitaires, Die Ingenieurausbildung in der Europäischen Gemeinschaft. Bruxelles 1970.

[2] Kuhn, A., Das Problem der Prognose in der Soziologie. Berlin: Verlag Duncker und Humblot 1970.

[3] Supe, H.D., Stadtwirtschaft, Stadtwirtschaftslehre und optimale Stadtentwicklung. In: Zukunft im System. Aachen: Forschungsgruppe Entwicklungstrends der RWTH Aachen 1970.

[4] Hempel, C.G., Aspects of Scientific Explanation. New York/London 1965.

[5] N.N., Interne Studie der Deutschen Lufthansa AG. Köln 1969.

[6] Schirp, L., Die Ausbreitung neuer Techniken - Ansätze für eine Prognose. In: Elektrizität Nr. 7 (1971), S. 183-187.

[7] IATA, World Air Transport Statistics Nr. 14. Montreal 1970.

[8] Klatt, S., Die ökonomische Bedeutung der Qualität von Verkehrsleistungen. Berlin: Verlag Duncker und Humblot 1965.

[9] Voigt, F., Theorie der regionalen Verkehrsplanung. Berlin: Verlag Duncker und Humblot 1964.

[10] Kuntz, H., Die Transportattraktivität als Steuergröße für die Nachfrage nach Personenverkehrsleistungen konkurrierender Verkehrsmittel. Düsseldorf: VDI-Z Nr. 13/71.

[11] N.N., Gablers Wirtschaftslexikon. Wiesbaden: Verlag Dr. Th. Gabler 1965.

[12] Autorenkollektiv, Beiträge zur Verkehrstheorie und Verkehrspolitik. Düsseldorf: Verlag Handelsblatt GmbH 1961.

[13] Kuntz, H., Notwendigkeit und Möglichkeit der Prognose von Entwicklungsverläufen im Bereich des Verkehrswesens. Düsseldorf: VDI-Z Nr. 1/71, S. 830-833.

[14] Mäcke, P.A., Das Prognoseverfahren in der Verkehrsplanung. Wiesbaden/Berlin: Bauverlag 1964.

[15] Zangemeister, Ch., Nutzwertanalyse in der Systemtechnik. München: Wittemannsche Buchhandlung 1970.

[16] Zangemeister, Ch., Nutzwertanalyse von Projektalternativen. In: Aufbauseminar Systemtechnik. TU Berlin 1969.

[17] Autorenkollektiv, Measurement and Evaluation of Transportation System Effectivness. Santa Monica: The Rand Corporation 1969.

[18] Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Verkehr NRW, Generalverkehrsplan NW. Sicherheitsansprüche der Verkehrsbeteiligten. Repräsentativbefragung durch das EMNID-Institut. Düsseldorf 1966.

[19] Scharlach, H., Eisenbahn und Inlandsluftverkehr. Köln: Deutsche Lufthansa AG 1969.

[20] Autorenkollektiv, Der Schnellverkehr auf dem Lande und in der Luft - Konkurrenz oder Synthese. Heft Nr. 101 der Arbeitsgemeinschaft für Rationalisierung NRW. Dortmund 1968.

[21] Autorenkollektiv, High Speed Ground Transportation. New York, McGraw Hill 1963.

[22] Hackstein, R., Vorlesung Arbeitswissenschaft I. Aachen: Institut für Arbeitswissenschaft 1969.

[23] Krelle, W., Preistheorie. Tübingen/Zürich 1961.

[24] Brooks, P.W., The Modern Airliner. London: Verlag Putnam 1961.

[25] Ayres, R.U., Technological Forecasting. New York: McGraw Hill 1969.

[26] Pirath, C., Verkehrswirtschaft. Berlin/Göttingen/Heidelberg: Springer Verlag 1949.

[27] Buschhorn, H.R., Einsatzanalytische Untersuchungen eines künftigen Intercity-Verkehrsverbundsystems mit VTOL-Flugzeugen. Bremen: VFW-Fokker 1970.
[28] Bongers, H., Deutscher Luftverkehr. Bad Godesberg: Kirschbaum Verlag 1967.
[29] Brown, B.B., Delphi Process: A Methodology Used for the Elicitation of Opinions of Experts. Santa Monica: The Rand Corporation 1968.
[30] N.N., LTV World Outlook Report. June 1968. Ling-Temco-Vought, Inc.
[31] Spintzyk, J., Technologische Voraussage - ein Schwerpunkt der Zukunftsforschung. In: Dornier-Post 3/70, S. 3-9.
[32] Hoffmann, G., Im Atom-Zeppelin über den Atlantik. In: Industriekurier v. 17.7.1969.
[33] Heß, J., Neuer Anlauf deutscher Luftschiffahrt. In: Industriekurier v. 7.8.1969.
[34] Rößger, E. und K.-B. Hünermann, Einführung in die Luftverkehrspolitik. Mannheim/Zürich: Bibliographisches Institut 1968.
[35] Höppner, H.-J., Überlegung zur Auslegung eines V/STOL-Flugzeuges. In: Luftfahrttechnik-Raumfahrttechnik Bd. 16 (1970), S. 2-8.
[36] Pfenninger, W., Entwicklungsrichtungen in der Luftfahrttechnik. In: VDI-Z Bd. 111 (1969) Nr. 9, S. 573-576.
[37] Quick, A.W., B. Goethert und E.A. Müller, Short Course über Fluglärm an der TH Aachen 1971, Vorlesungsskripten.
[38] Autorenkollektiv, Deutsche V/STOL-Projekte. In: Luftfahrttechnik-Raumfahrttechnik Bd. 16 (1970) Nr. 1, S. 1-25.
[39] Wood, D.W., Zivile V/STOL-Projekte. In: Dornier-Post 4/70.
[40] Huinink, B. und K.B. Brink, Das senkrechtstartende Strahlflugzeug im Rahmen eines zukünftigen V/STOL-Transportsystems. Friedrichshafen: Bericht Nr. 70-001 der Dornier AG 1970.
[41] N.N., HFB-600, V/STOL-Transporter für zivile und militärische Aufgaben. Hamburg: Messerschmitt-Bölkow-Blohm 1969.
[42] N.N., Lufthansa hat Bedenken gegen Ausbau des Regionalluftverkehrs. In: Wirtschafts-Correspondent v. 3.4.1971.
[43] Richards, B., Stadtverkehr von morgen. München: Verlag G.D.W. Calwey 1970.
[44] N.N., Pan American Airways, Annual Report 1969. New York 1970.
[45] Lambert, W., E. Skubinna und H. Brusberg, Wirtschaftlichkeit des Hubschraubers. Stuttgart: Verlag Flugtechnik 1959.
[46] Taylor, J.W.R., Jane's All The World's Aircraft. London: Sampson Low Marston & Co. Ltd. 1969.
[47] Sikorsky, S.J., Die Luftraumüberfüllung und der Verbundhubschrauber. Köln: United Aircraft International Inc. 1970.
[48] N.N., Hovercraftfahrzeuge - ein Flugzeugtyp. In: Industriekurier vom 6.1.1970.
[49] Tschebotarew, E.V., Untersuchung über neue Bauformen öffentlicher Verkehrsmittel. Bericht des 38. Internationalen Kongresses der UITP, London 1969.
[50] Rose, H., Entwicklungstendenzen nichtkonventioneller Transportmittel. In: Deutsche Eisenbahntechnik Bd. 18 (1970) Nr. 1, S. 503-509.
[51] Massute, E., Der Schnellverkehr auf dem Lande. In: Bericht Nr. 101 der Arbeitsgemeinschaft für Rationalisierung des Landes NRW. Dortmund: Verkehrs- und Wirtschaftsverlag Dr. Borgmann 1968.
[52] Der Bundesminister für Verkehr, Verkehrsbericht 1970.
[53] N.N., Gelber Blitz. In: Der Spiegel Nr. 20/1971, S. 165.
[54] N.N., Öffentlicher Nahverkehr - Die ALWEG-Bahn (Prospekt der Fa. ALWEG GmbH, Essen).
[55] Massute, E., Systemanalyse des Eisenbahnverkehrs für den Generalverkehrsplan Nordrhein-Westfalen, Hannover 1967.
[56] Kuntz, H., Beitrag zur quantitativen Erfassung der Transportattraktivität als Grundlage für eine Prognose künftiger Substitutionsvorgänge im Bereich des Personenverkehrswesens. In: Zukunft im System, Sammelbericht zur Hundertjahrfeier der RWTH Aachen 1970.

[57] Harries, L., Public Attitudes toward Travel and its Future. In: The Newsweek Travel Seminar, New York 1968.
[58] N.N., The 1969 Newsweek Travel Study. Norwood/Pa: Sindlinger & Comp. Inc. 1969.
[59] Lederer, J., The Jumbo Jet and Public Safety. In: The Aeronautical Journal of the Royal Aeronautical Society, Vol. 72 (1968), S. 291-298.
[60] Brink, K.B. und T. Conrady, Aspekte zur Sicherheit von VTOL-Flugzeugen. In: Dornier-Post 3/69, S. 9-11.
[61] Herb, H., Sicherheit im Luftverkehr heute und morgen. Schrift zum DLRG Symposium: Verkehrstechnik der Zukunft. Hamburg 1970.
[62] Shriever, B.A. und W. Seifert, Air Transportation 1975 and beyond. A Systems Approach. Massachusetts Institute of Technology Cambridge/ Massachusetts: The MIT Press 1968.
[63] Huddie, D., Economics of Propulsion Systems for Air Transport. In: The Aeronautical Journal of the Royal Aeronautical Society, Vol. 74 (1970), S. 457-466.
[64] Eggers, G., Die Vertikalflugtechnik als Grundlage neuer Bauprinzipien im Flugzeugbau. In: VDI-Z 108 (1966) Nr. 32, S. 1593-1596.
[65] Kuhn, G., Prognose der Reisegeschwindigkeit im Mittel- und Langstrekken-Luftverkehr mit Hilfe mathematisch-statistischer Verfahren. Studienarbeit am Institut für Luft- und Raumfahrt der TH Aachen. Aachen 1971.
[66] N.N., Flugplan der Deutschen Lufthansa AG, Köln, Ausgaben 1967-1971.
[67] N.N., ABC World Airways Guide. London: ABC Travel Guide Ltd. 1967-1971.
[68] Schieb, A., Die Reisedauer vor und nach dem Flug außerhalb des Flughafens. In: Heft 112 der Arbeitsgemeinschaft für Rationalisierung des Landes NRW. Dortmund: Verkehrs- und Wirtschaftsverlag Dr. Borgmann 1970.
[69] Lawson, K.S., The Influence of the Airport, its Facilities and Environment on Aircraft Design and Operating Economics. In: The Aeronautical Journal of the Royal Aeronautical Society, Vol. 73 (1969).
[70] Spintzyk, J., Über wichtige Einflußgrößen für die Rentabilität von Verkehrsflugzeugen und ihre Berücksichtigung bei dem Flugzeugentwurf. Bericht der Dornier GmbH. Friedrichshafen 1969.
[71] Simpson, R.W., Operating Dependability in Air Transport. AIAA Paper Nr. 66-943, 1966.
[72] Blundell, D.R., Airport Restrictions as they affect Airline Planning. In: The Aeronautical Journal of the Royal Aeronautical Society, Vol. 73 (1969).
[73] Behrend, G., Die Entwicklung der Marktstruktur im internationalen Luftverkehr. Berlin: Verlag Duncker und Humblot 1961.
[74] Schulz, R.W., Entwicklungslinien der Verkehrsflugzeuge. In: Luftfahrttechnik-Raumfahrttechnik Bd. 16 (1970) Nr. 5, S. 132-135.
[75] N.N., A Review of the Economic Situation of Air Transport 1957-1967. ICAO Circular 89-AT 15. Montreal 1968.
[76] Bauer, F., Flugpreise - Drei Pfennig für den Kilometer. In: Stern Nr. 39/1971, S. 185-186.
[77] Edwards, G., The Impact of Speed on Transport. In: The Aeronautical Journal of the Royal Aeronautical Society, Vol. 72 (1968), S. 603-610.
[78] Kümmell, K.F., Die Sicherheit des Fahrweges der Eisenbahn. In: Die Bundesbahn Nr. 10 (1971), S. 459-462.
[79] Kniffler, A., Fahrzeugtechnik und Sicherheit im Eisenbahnverkehr. In: Die Bundesbahn Nr. 10 (1971), S. 453-457.
[80] Bruckauf, F., Betriebsbeamte und Betriebssicherheit bei der Bundesbahn. In: Die Bundesbahn Nr. 10 (1971), S. 445-447.
[81] N.N., Sicherheitsautos: Für Tage ohne Tote. In: Der Spiegel Nr. 34 (1971), S. 86-104.
[82] Schröder, H., Schnellfahrten auf Schienen. In: Die Holzschwelle, Bd. 65 (1971) Nr. 66, S. 3-39.
[83] N.N., Straßenverkehr 1985. Aktuelle Wirtschaftsanalysen. Hamburg: Shell AG 1970.

[84] N.N., Entwicklungstendenzen des Kraftverkehrs in der Bundesrepublik Deutschland bis 1980. Heft Nr. 5 der Schriftenreihe des Verbandes der Automobilindustrie (VDA). Frankfurt 1970.

[85] N.N., Motorisierung ohne Raum. In: VDI-Nachrichten Nr. 7/1971, S. 2.

[86] Leber, G., Zukunftsprobleme und Aufgaben der europäischen Eisenbahnen. In: Die Bundesbahn Nr. 5/1971, S. 225-233.

[87] Oeftering, H.M., Die Eisenbahn in der modernen Gesellschaft. In: Die Bundesbahn Nr. 15/1971, S. 721-731.

[88] Nebelung, H., Entwicklungsmöglichkeiten der Verkehrstechnik. In: Heft B 9 der Schriftenreihe der Deutschen Verkehrswissenschaftlichen Gesellschaft (DVWG). Köln 1970.

[89] Autorenkollektiv, Anforderungen an Schnellstbahnen der Zukunft. Heft Nr. 107 der Arbeitsgemeinschaft für Rationalisierung des Landes Nordrhein-Westfalen. Dortmund: Verkehrs- und Wirtschaftsverlag Dr. Borgmann 1970.

[90] Wilke, G., Fahrzeugtechnik für hohe Geschwindigkeiten auf den heutigen Strecken. In: Eisenbahntechnische Rundschau Bd. 18 (1969) Heft 1/2, S. 27-33.

[91] Kracke, R., Eisenbahn auf neuen Straßen. In: Die Bundesbahn Nr. 2 (1970), S. 35-38.

[92] Kroschel, H.-U., Gasturbinen für Schienenfahrzeuge. In: Eisenbahntechn. Rundschau Bd. 18 (1969) Heft 5, S. 187-191.

[93] König, H., Der Wagenbau - eine nationale und internationale Aufgabe. In: Die Bundesbahn Nr. 17 (1970), S. 643-647.

[94] Hussong, H., Der Intercity-Verkehr der DB. In: Die Bundesbahn Nr. 12 (1971), S. 831-838.

[95] Ziller, H., Zukunftschancen der Eisenbahn an Beispielen aus aller Welt. In: Die Bundesbahn Nr. 4 (1971), S. 171-179.

[96] Kalb, H., Der spurgebundene Verkehr der Zukunft. In: Die Bundesbahn Nr. 11 (1971), S. 501-506.

[97] N.N., Schnellbahnen 1985. In: Umwelt Nr. 1 (1971), S. 35-37.

[98] N.N., Das Ergebnis der großen Motorwelt - Streckentests. In: ADAC-Motorwelt Nr. 10 (1971), S. 50-57.

[99] N.N., Kursbuch der Deutschen Bundesbahn, Ausgabe Sommer 1971. Essen: Kursbuchstelle der DB 1971.

[100] Rückel, R., Intercity-Zwei-Stunden-Takt auf der Schiene. In: Die Bundesbahn Nr. 17 (1971), S. 825-830.

[101] Streichardt, H., Der Service rollt mit - Die DSG als Helferin der Bahn. In: Die Bundesbahn Nr. 11 (1971), S. 520-526.

[102] N.N., Verkehr der Zukunft - Möglichkeiten und Aussichten. Heft Nr. 6 der Schriftenreihe des Verbandes der Automobilindustrie (VDA). Frankfurt 1970.

[103] N.N., Kurzbeschreibung der K-Wagen der Österreichischen Bundesbahn. In: Die Bundesbahn Nr. 3 (1971), S. 149.

[104] Lingnau, G., Tendenz steigend. In: Auto-Motor-Sport Nr. 14/1971, S. 35.

[105] Stuckenberg, H., Mehr Preisspielraum für die DB. In: Die Bundesbahn Nr. 4 (1971), S. 165-169.

[106] Stuckenberg, H., Der Finanzbedarf der Bundesbahn unter gesamtwirtschaftlicher Sicht. In: Die Bundesbahn Nr. 16 (1971), S. 773-783.

[107] N.N., Neue Trassen. In: Die Bundesbahn Nr. 11 (1971), S. 499.

[108] Lapp, R., Der Luftverkehr und seine Konsumenten. In: Wehr und Wirtschaft 2/1964, S. 79/82.

[109] Wilckens, V., Erstellung eines Verfahrens zur Ermittlung der Güte von Verkehrsflugzeugen. Köln und Opladen: Westdeutscher Verlag 1962.

[110] Frangen, J., Die Dimensionen des technologischen Wandels als Bewertungskriterium einiger Prognosemethoden. In: Zukunft im System. Aachen: Forschungsgruppe Entwicklungstrends der RWTH Aachen 1970.

[111] Sachs, L., Statistische Auswertungsmethoden. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag 1969.

[112] Kreiszig, E., Statistische Methoden und ihre Anwendung. Göttingen: Verlag Vandenhoeck und Ruprecht 1968.
[113] Potthoff, G., Die Korrelationsrechnung im Verkehrswesen. Köln und Opladen: Westdeutscher Verlag 1968.
[114] Richter, K.-J., Verkehrsökonometrie. Köln und Opladen: Westdeutscher Verlag 1969.
[115] Nebelung, H., Vorlesungsumdruck Verkehrswirtschaft. Aachen: Lehrstuhl für Verkehrswirtschaft, Eisenbahnbau und -Betrieb der RWTH Aachen 1965.
[116] Quick, A.W., Vorlesungsumdruck Flugzeugbau. Aachen: Lehrstuhl für Luft- und Raumfahrt der RWTH Aachen 1971.
[117] N.N., BMWI-Leistungen in Zahlen. Bonn: Bundesministerium für Wirtschaft 1970.

Anhang

a) Abbildungen



Abb. 1: Attraktivitätsvergleich von Verkehrsmitteln aus Kundensicht (Quelle der Zahlen: DLH)

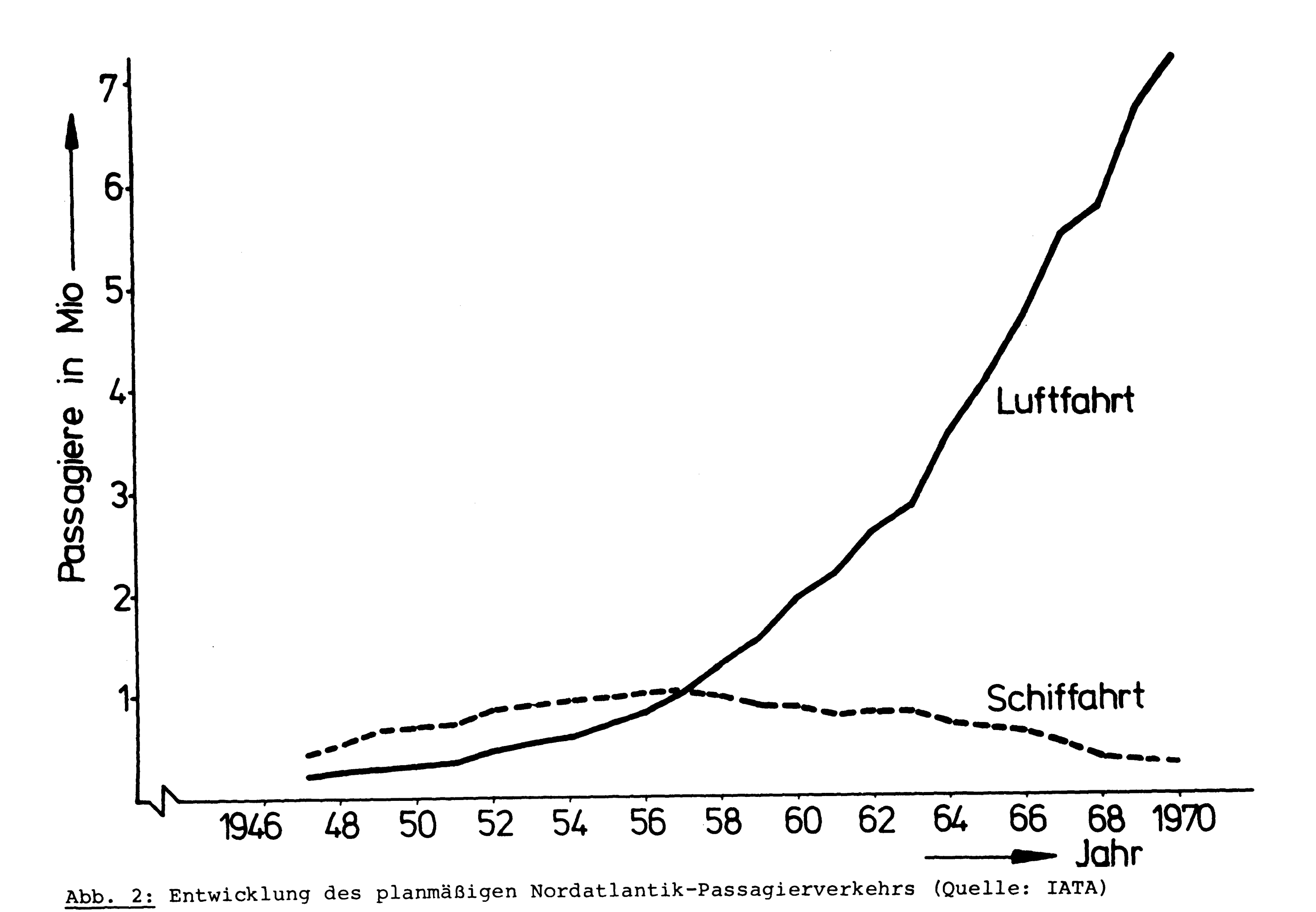
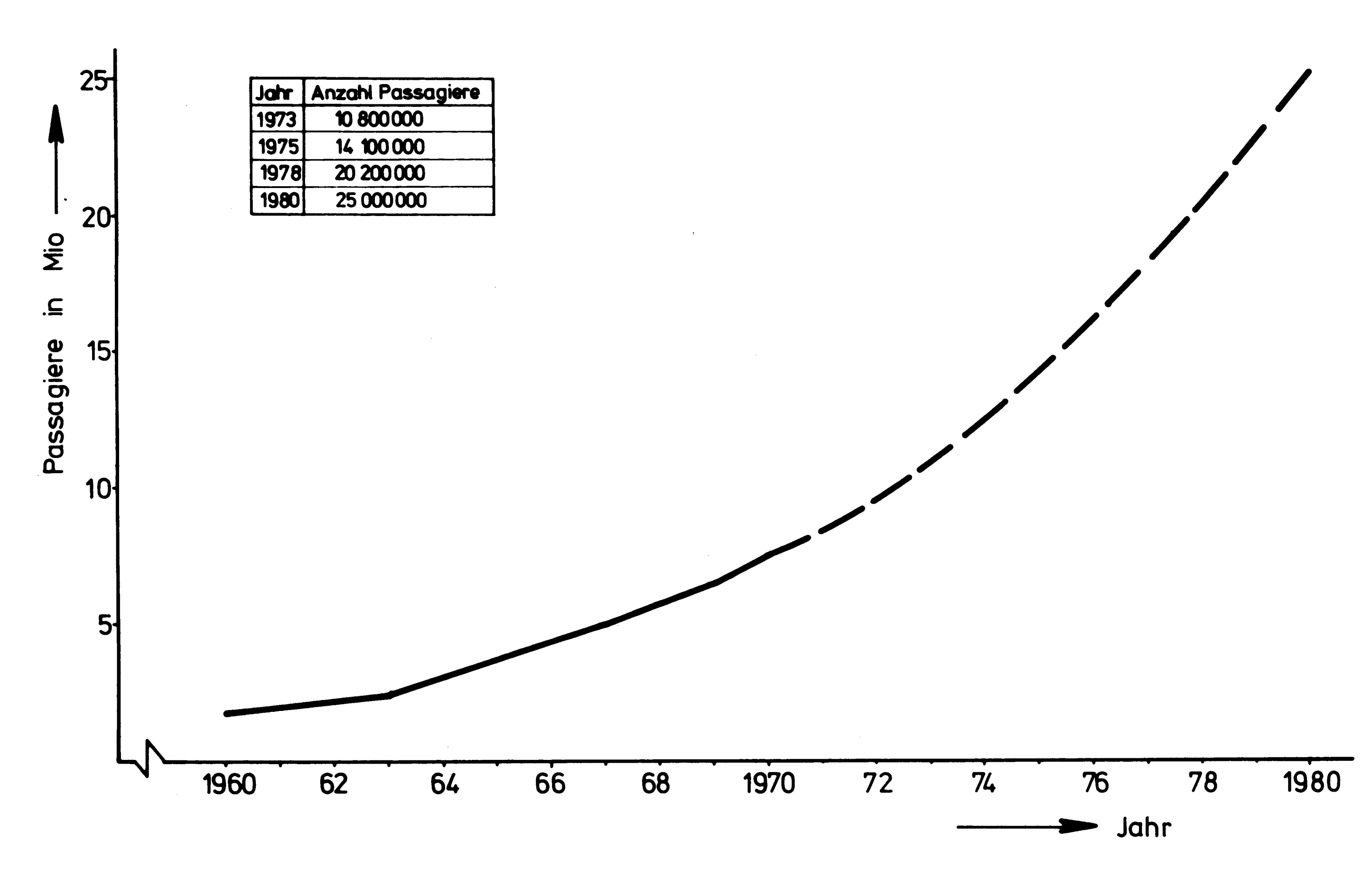


Abb. 2: Entwicklung des planmäßigen Nordatlantik-Passagierverkehrs (Quelle: IATA)



Jahr	Anzahl Passagiere
1973	10 800 000
1975	14 100 000
1978	20 200 000
1980	25 000 000

Abb. 3: Prognose des Passagieraufkommens im planmäßigen Nordatlantik-Luftverkehr (Quelle: IATA)

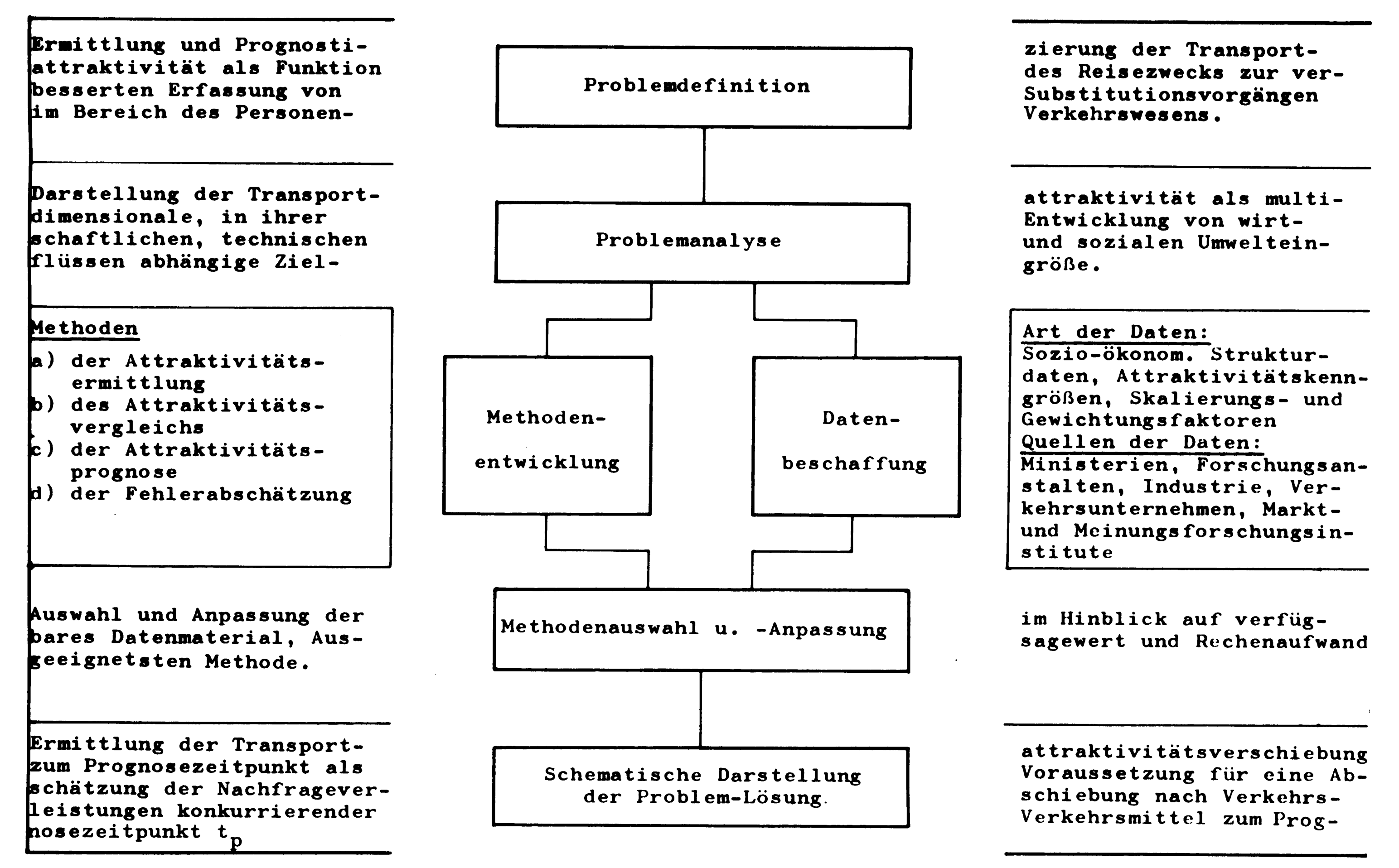


Abb. 4: Problemdefinition und schematische Darstellung der Problemlösung

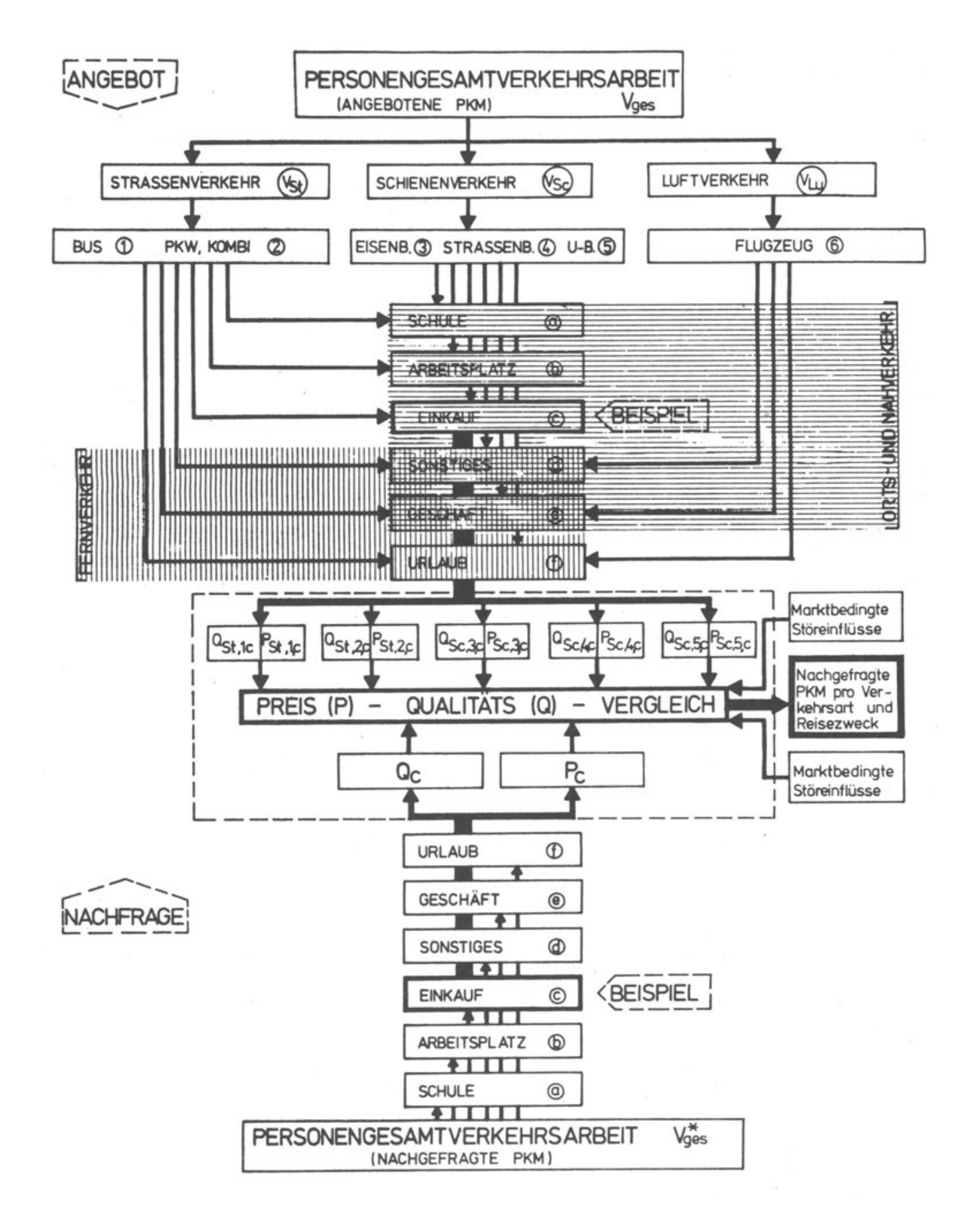


Abb. 5: Verkehrsmittel- und reisezweckorientierte Aufteilung der Personenverkehrsarbeit

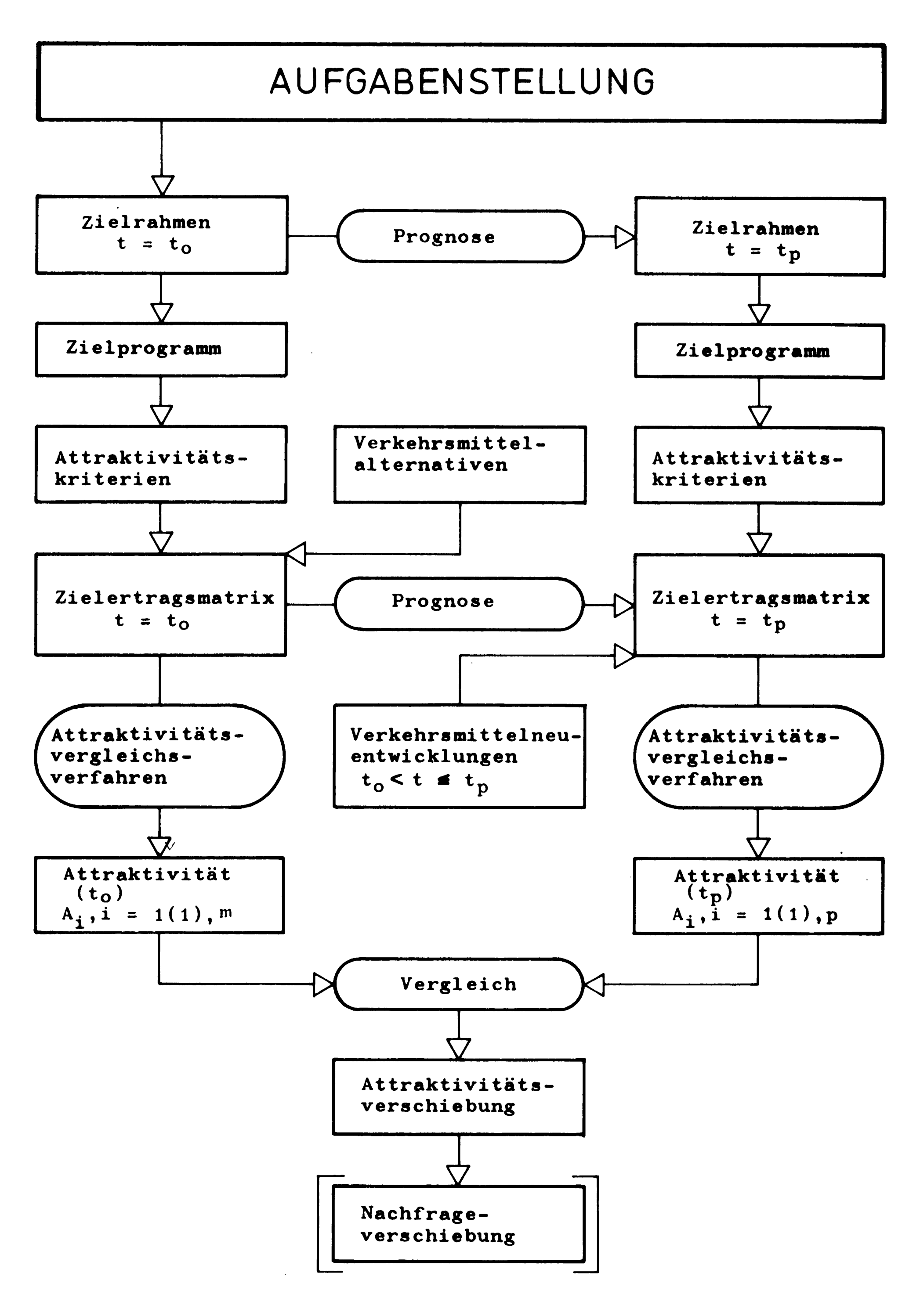


Abb. 6: Blockdiagramm Attraktivitätsprognose

Verkehrsfunktion	Personenverkehrssystem			
	Straßenverkehr		Schienenverkehr	Luftverkehr
	öffentlich	privat		
Zubringerfunktion	Eigendienst des Kunden	entfällt	Eigendienst und/oder Straßenverkehrsunternehmen	Eigendienst und/oder Straßenverkehrsunternehmen und/oder Schienenverkehrsunternehmen und/oder Flughafengesellschaft
Abfertigungsfunktion	Straßenverkehrsunternehmen Reisebüro	entfällt	Schienenverkehrsunternehmen Reisebüro	Fluggesellschaft Flughafengesellschaft Reisebüro
Transportfunktion	Straßenverkehrsunternehmen	Eigendienst	Schienenverkehrsunternehmen	Fluggesellschaft
Transportsicherungsfunktion	Verkehrspolizei, Wetterdienst Straßenverkehrsamt, Straßenverkehrswacht, Techn. Überwachungsverein		Schienenverkehrsunternehmen	Fluggesellschaft Flugsicherung Flugwetterdienst
Transport-Hilfsfunktion	Transportversicherung	Private Kfz-Versicherung	Transportversicherung	Transportversicherung
Sonstige (z.B. System-Erstellung, -Erneuerung, -Steuerung und -Überwachung	Forschungsinstitute, Industrie, Ministerien			

Abb. 7: Funktionsträger und Funktionen im Personenverkehrssystem

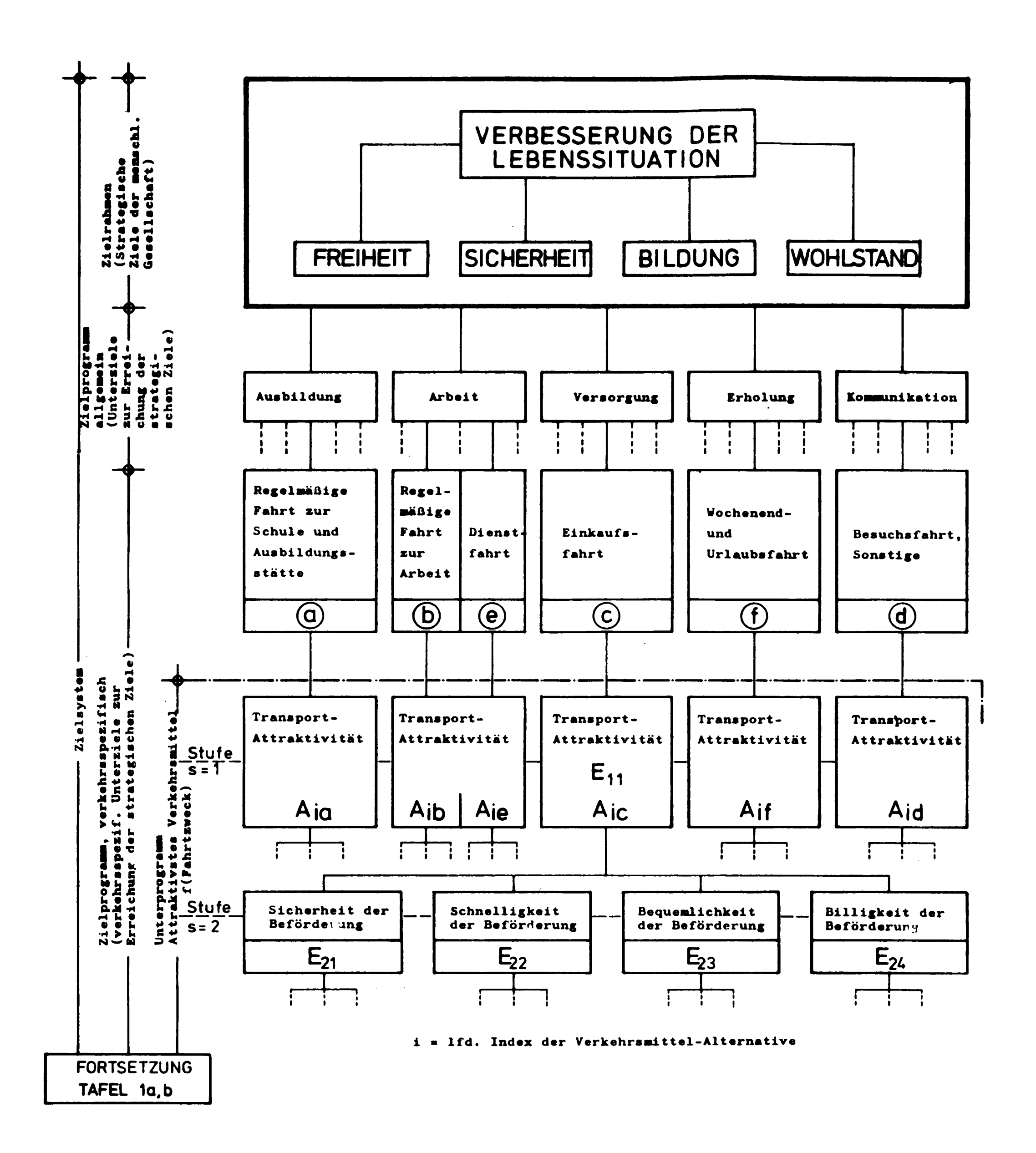


Abb. 8: Zielrahmen und Zielprogramm zur Ermittlung der Transportattraktivität
A_i, $i=1(1),m$ = Attraktivität der Verkehrsmittel M_i
E_{sj}, $j=1(1),n$ = Attraktivitätseigenschaft der Hierarchiestufe s

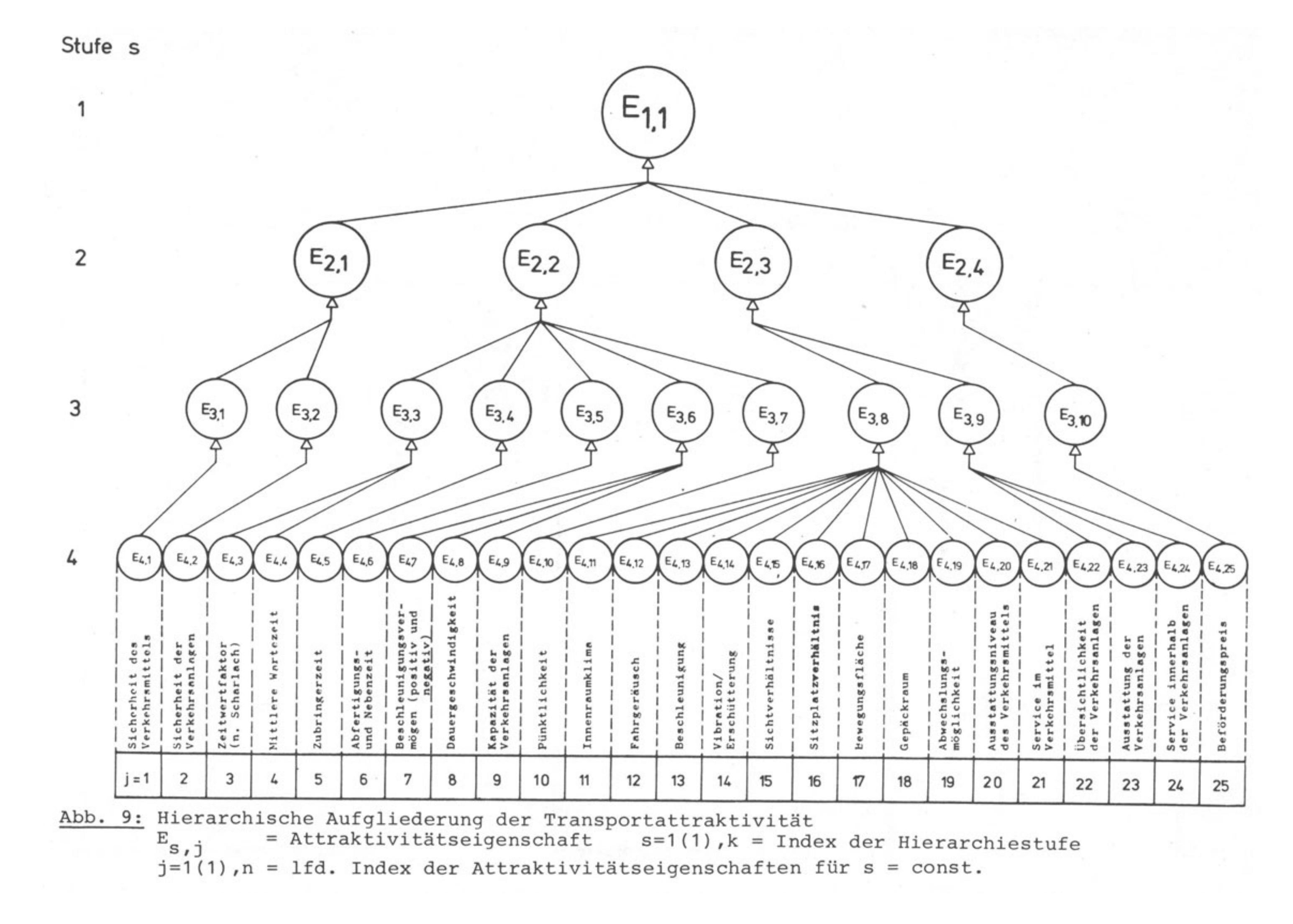


Abb. 9: Hierarchische Aufgliederung der Transportattraktivität
$E_{s,j}$ = Attraktivitätseigenschaft s=1(1),k = Index der Hierarchiestufe
j=1(1),n = lfd. Index der Attraktivitätseigenschaften für s = const.

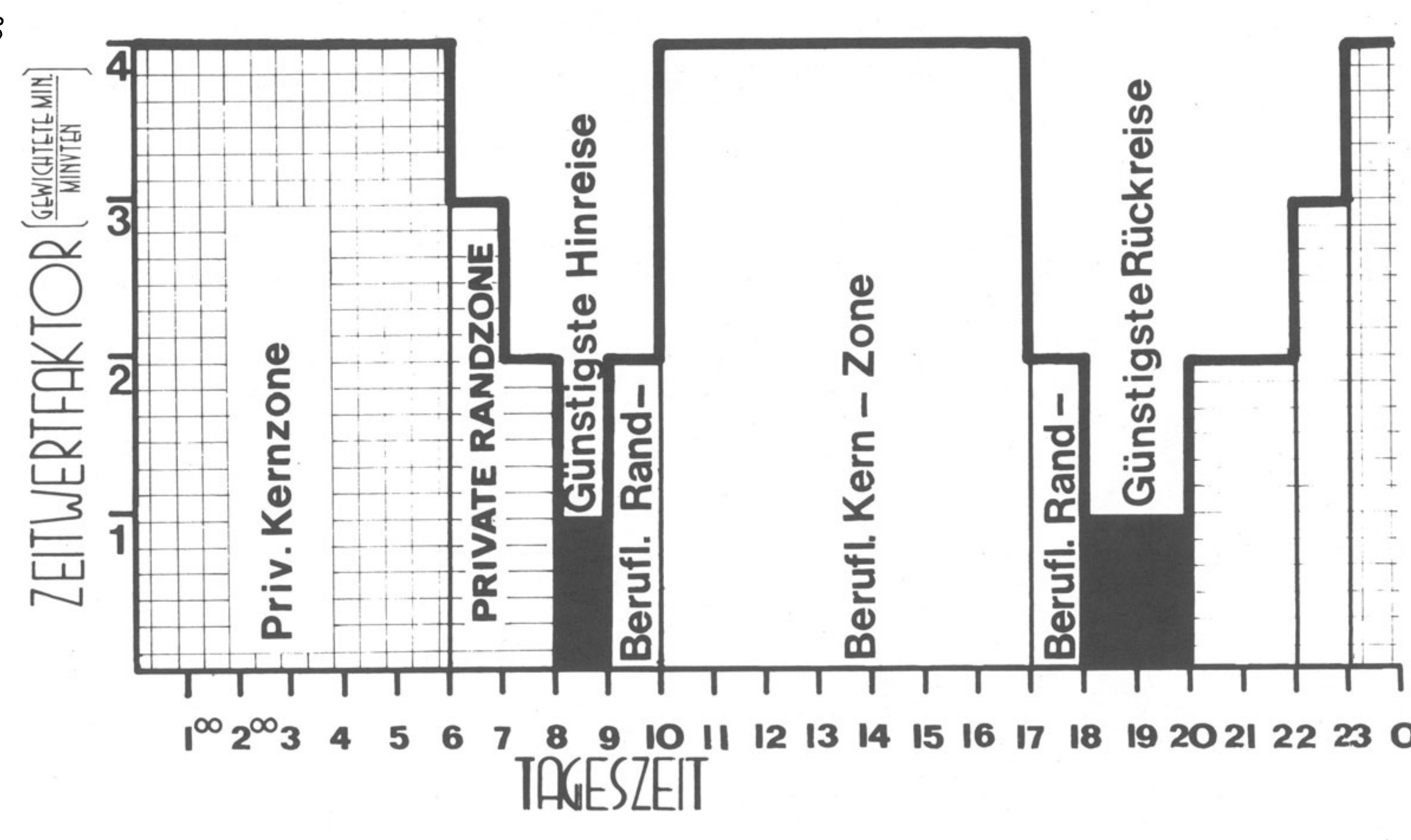


Abb. 10: Gewichtung von Stundengruppen für dienstlich motivierte Kurzreisen (nach Scharlach)

BALLISTISCHER FLUG

110 km

START

NEW YORK

HYPERSCHALL - GLEITFLUG

NORDATLANTIK

5600 km

LANDUNG

LONDON

nach Brooks

Abb. 11: Profil eines Transatlantik-Hyperschall-Fluges

Verkehrsmittelart (für Reiseentfernungen ≥ 100 km)	Anwendungsmöglichkeit	Verkehrsmittel - Komponenten																				
		Antrieb														Stützung				Steuerung u. Lenkung		
		Verbrennungsmotor					Elektromotor					Turbo - Antrieb										
		Innere Verbrennung			Äußere Verbrenng.		Umlaufende Maschinen											Boden-effekt				
		Ottomotor	Dieselmotor	Wankelmotor	Stirlingmotor	Heißdampfmotor	Netzbetrieb	Batteriebetrieb	Brennstoff - Zellbetrieb	Hybridantrieb	Linearmotor	Gasturbine	Turbo - Prop.-Antrieb	Strahltriebwerk	(Staustrahltriebwerk)	Rad	Tragflügel	Luftkissen	Magnetkissen	manuell	teilautomatisch	vollautomatisch
Straßen - verkehr	1	X	X	X			X									X				X		
	2				X	X		X	X	X		X									X	X
	3										X		X	X				X	X			
	4														X		X					
Schienen - verkehr	1		X			X	X	X				X	X			X				X	X	
	2										X							X	X			X
	3	X		X	X				X	X				X								
	4														X		X					
Luft - verkehr	1	X	X										X	X			X	X		X	X	
	2			X											X							X
	3				X	X																
	4						X	X	X	X	X	X				X			X			

Zeichenerklärung:

1 - in Anwendung (bzw. i.A. gewesen)

2 - Anwendung in Untersuchung

3 - Anwendung theor. möglich, praktisch unbekannt

4 - Anwendung unmöglich bzw. unsinnig

Abb. 12: Anwendungsmöglichkeit verschiedener Verkehrsmittelkomponenten im Straßen-, Schienen- und Luftverkehr

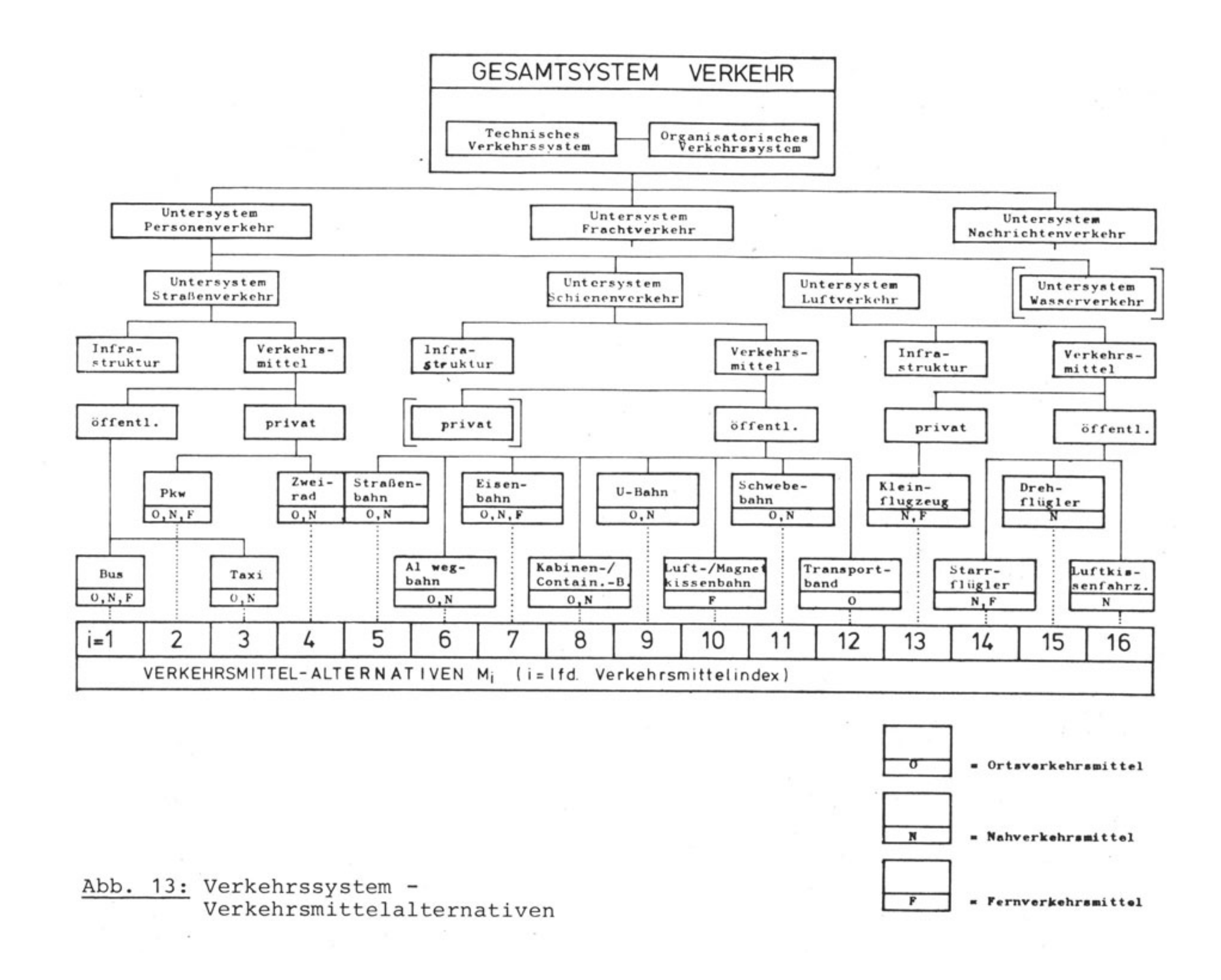


Abb. 13: Verkehrssystem - Verkehrsmittelalternativen

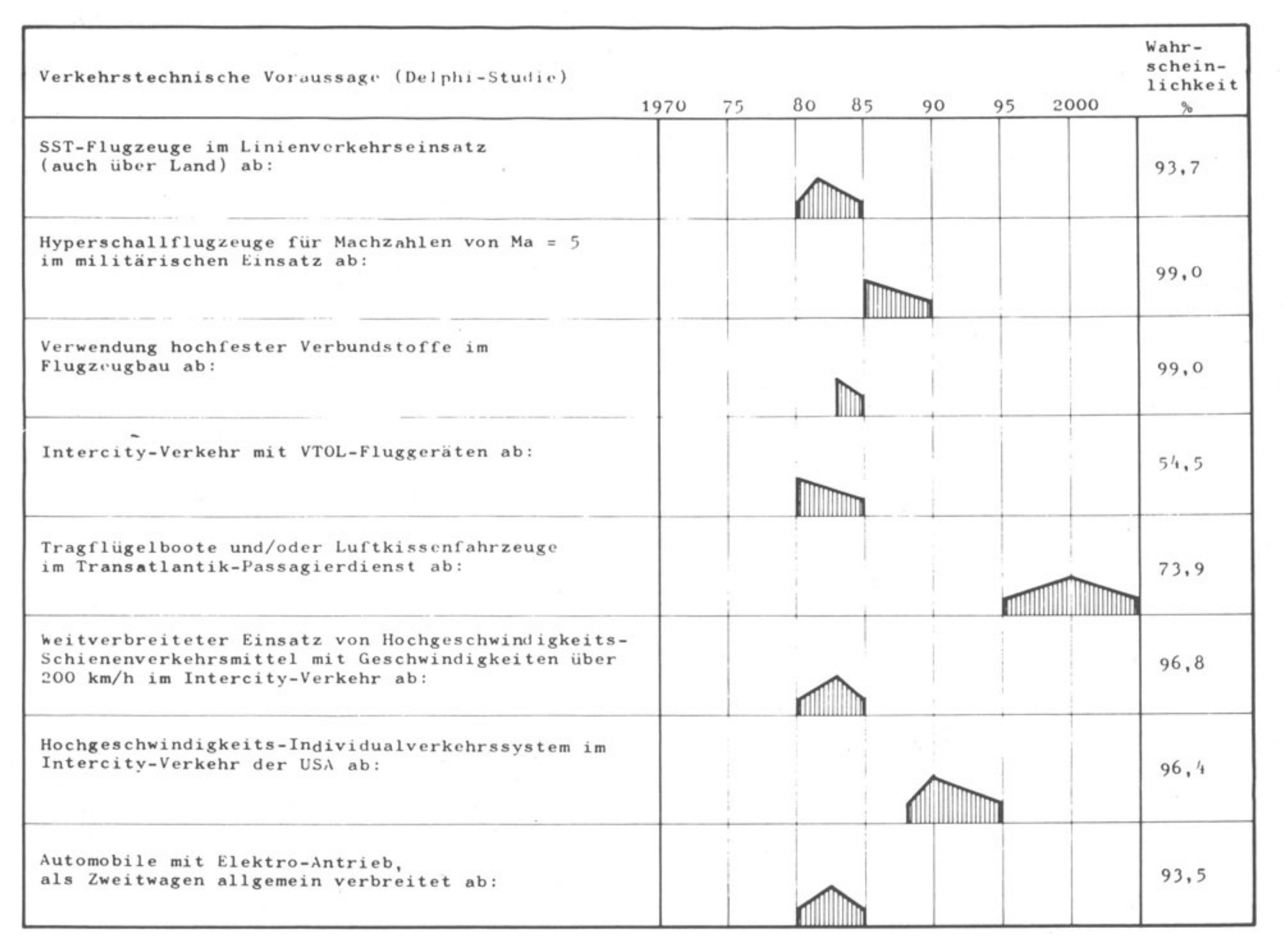


Abb. 14: Ergebnis einer Delphi-Studie über den Einsatz neuer Verkehrsmittel

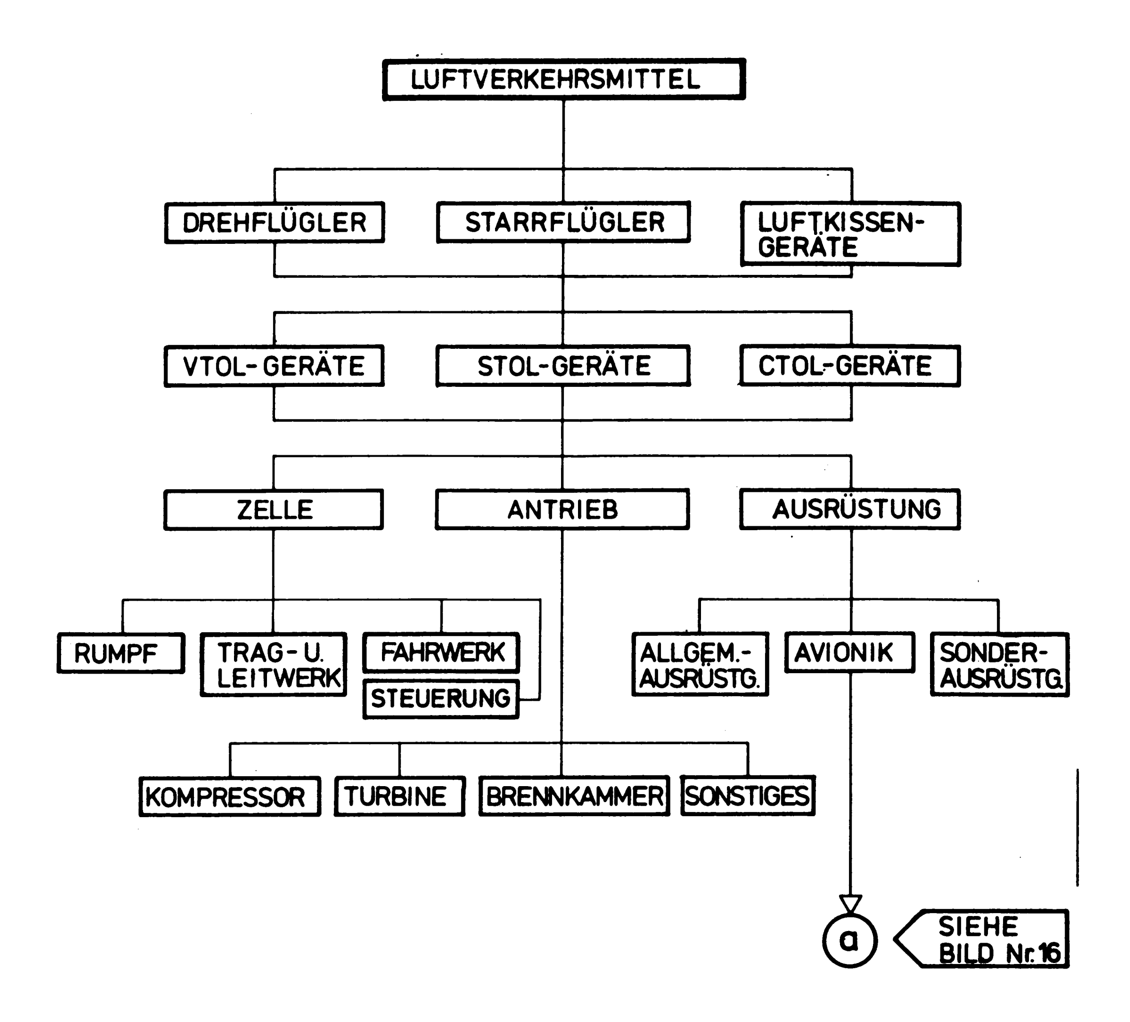


Abb. 15: Strukturdiagramm Luftverkehrsmittel

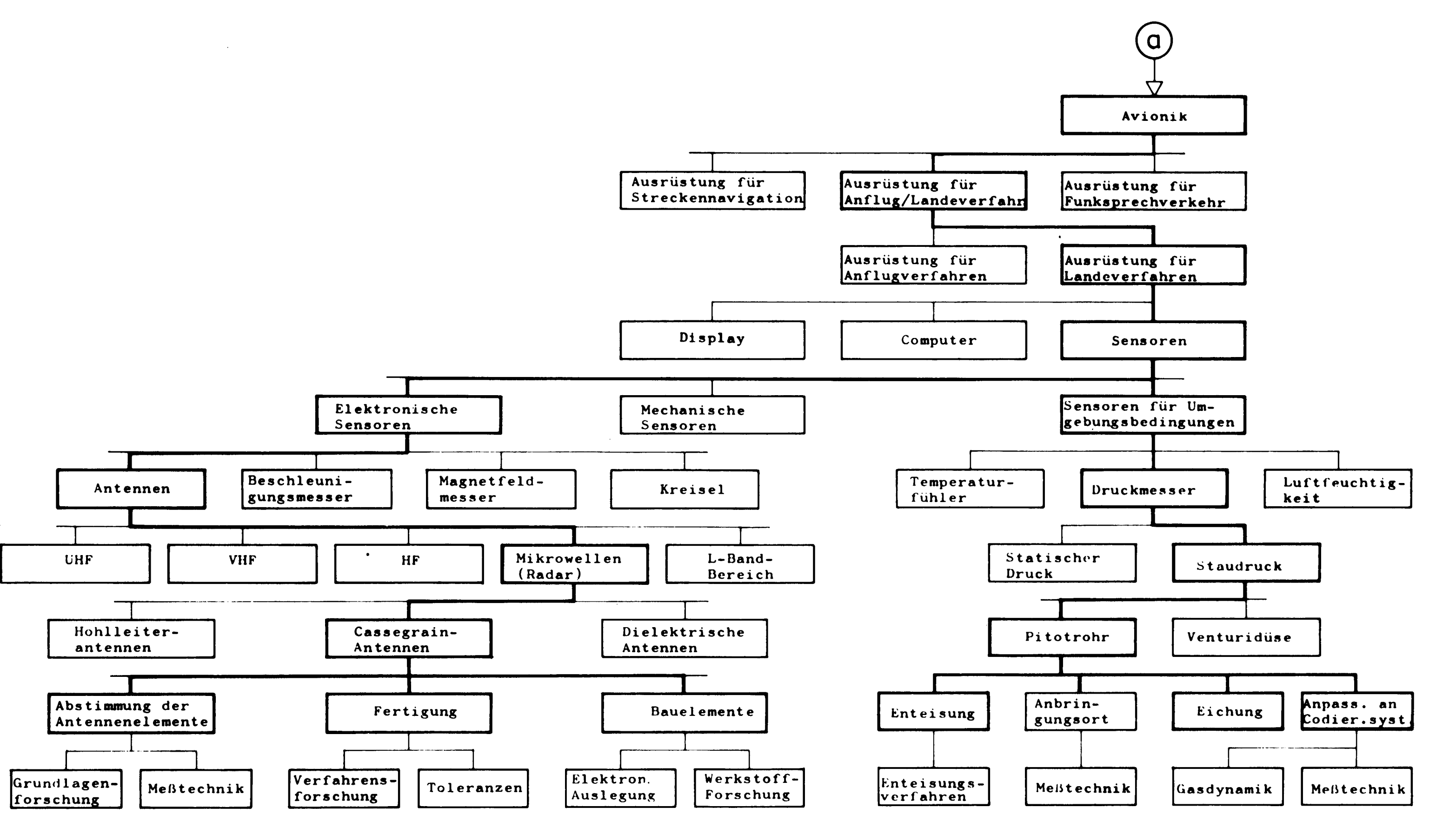


Abb. 16: Zerlegung einer Flugzeugkomponente nach dem Relevanzbaumverfahren (nach Spintzyk [31])

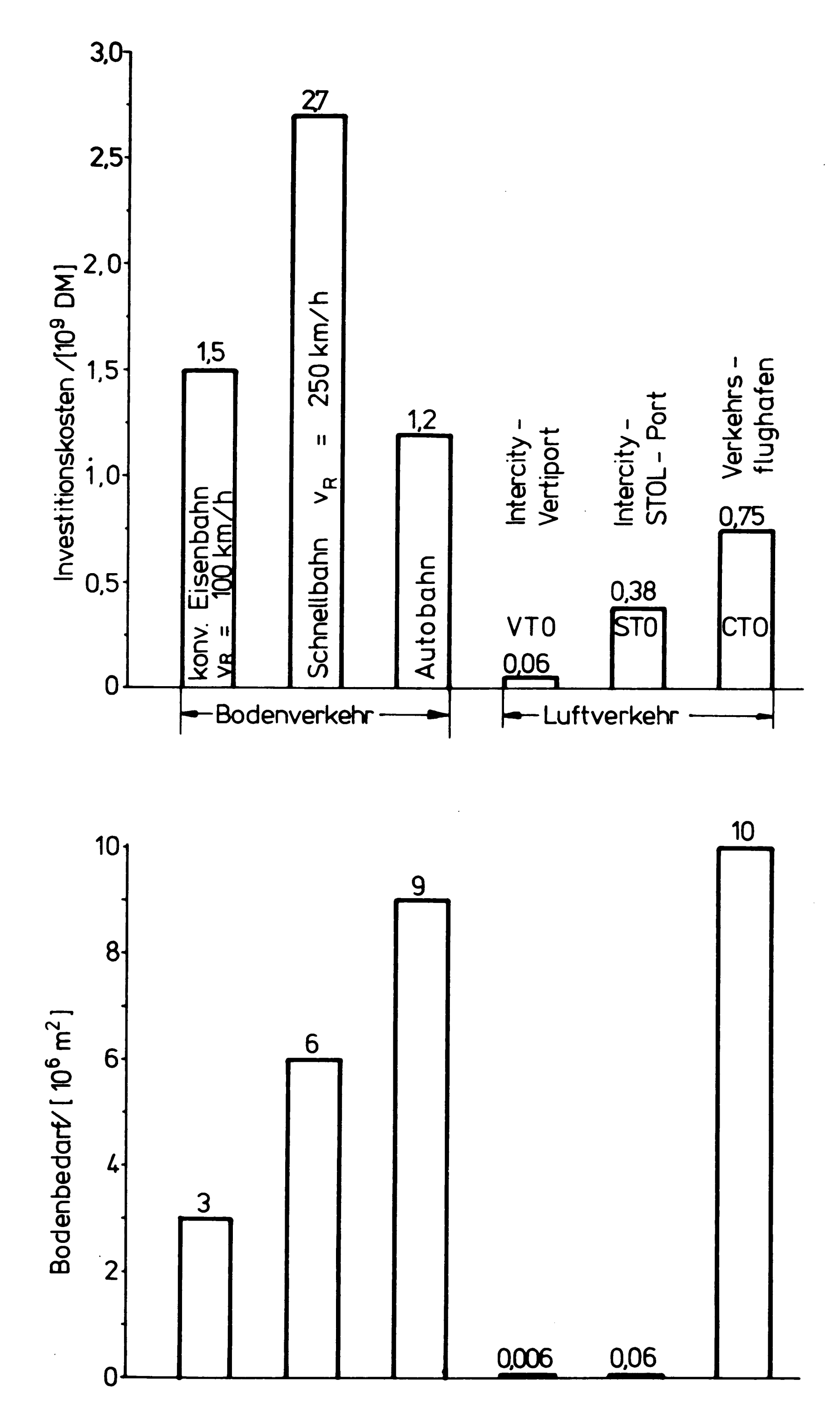
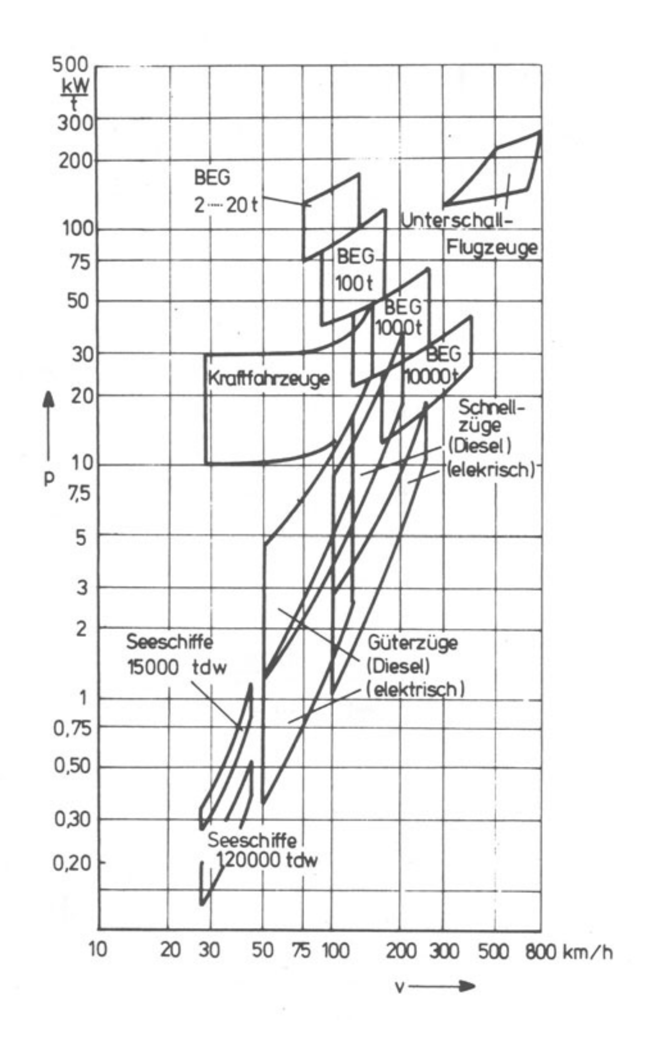


Abb. 17: Investitionskosten- und Bodenbedarfsvergleich für verschiedene Verkehrsmittel (Streckenlänge: 300 km)



<u>Abb. 18:</u> Spezifischer Energiebedarf verschiedener Verkehrsmittel (nach Rose)

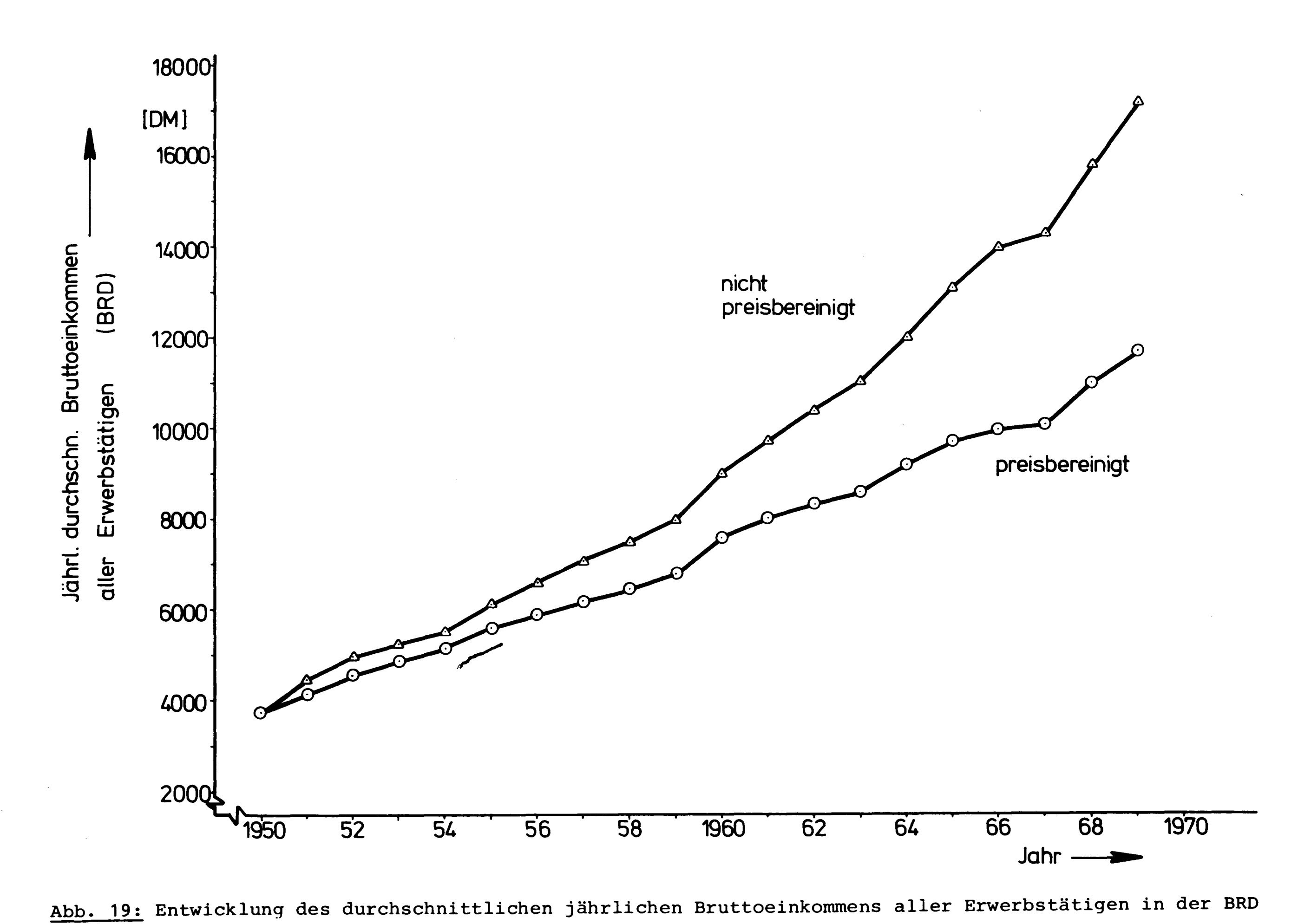


Abb. 19: Entwicklung des durchschnittlichen jährlichen Bruttoeinkommens aller Erwerbstätigen in der BRD

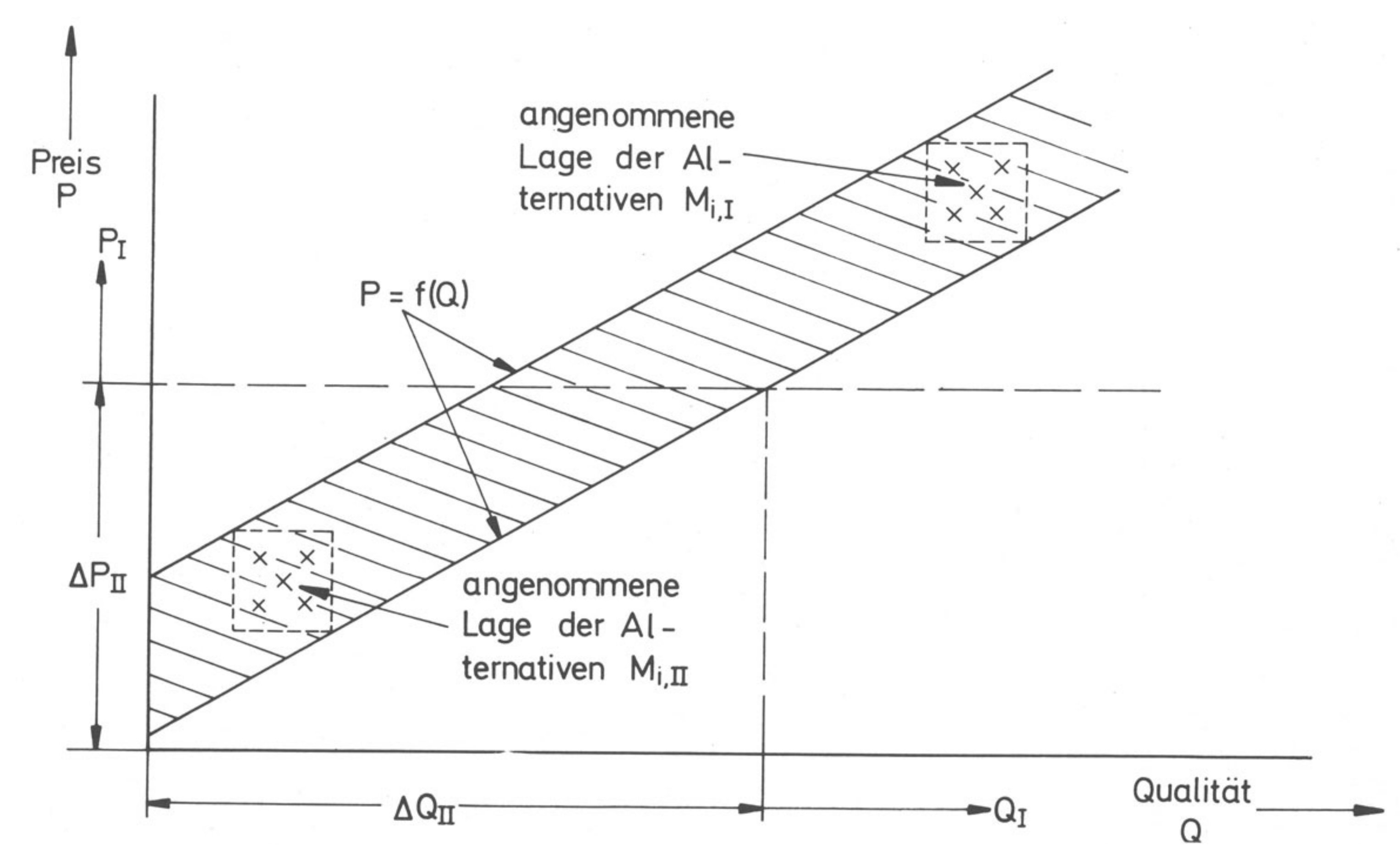


Abb. 20: Modellvorstellung für die Preis-Qualitäts-Abhängigkeit des Verkehrsleistungsangebots der BRD

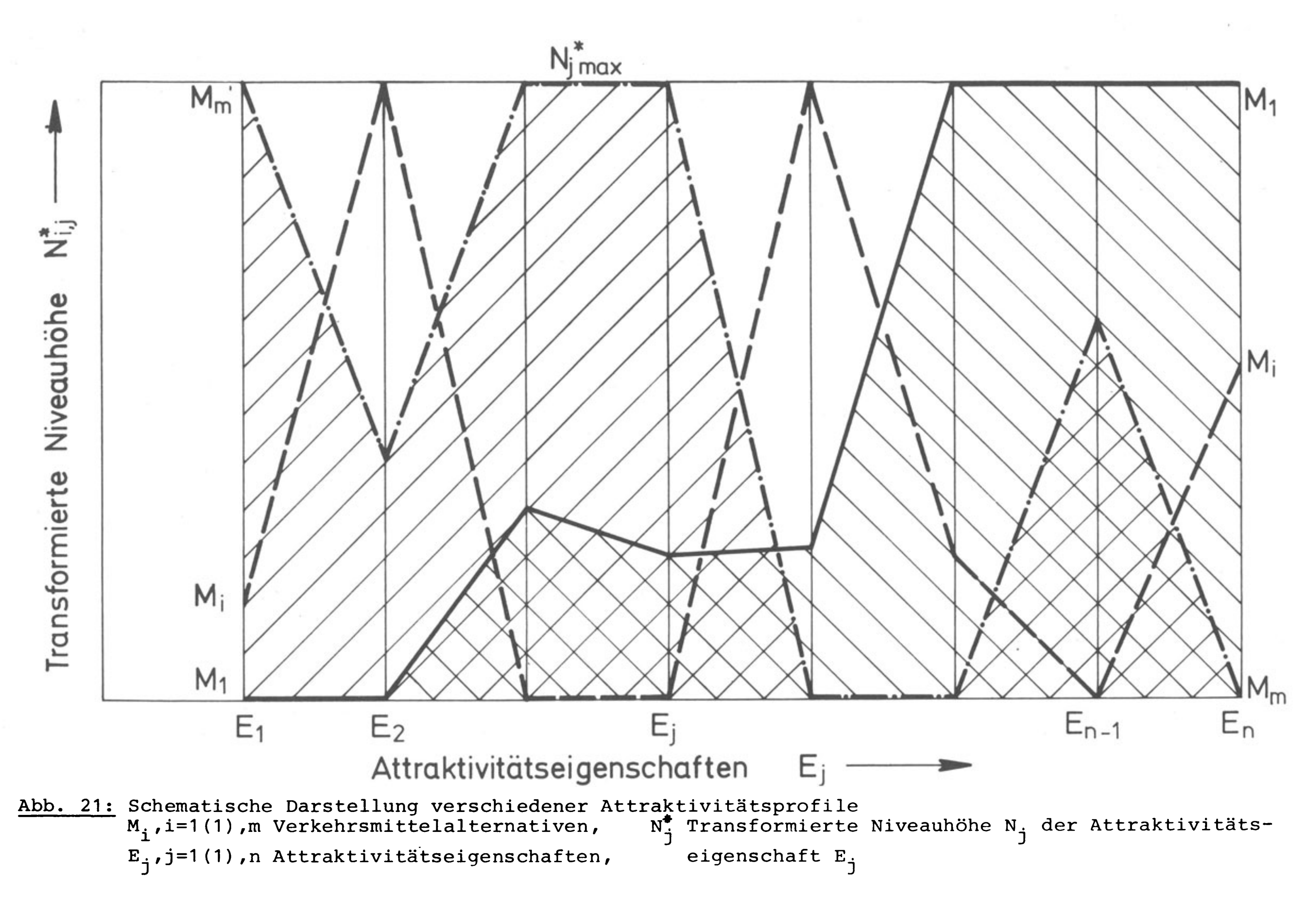


Abb. 21: Schematische Darstellung verschiedener Attraktivitätsprofile
M_i, i=1(1),m Verkehrsmittelalternativen,
E_j, j=1(1),n Attraktivitätseigenschaften,
N^*_j Transformierte Niveauhöhe N_j der Attraktivitätseigenschaft E_j

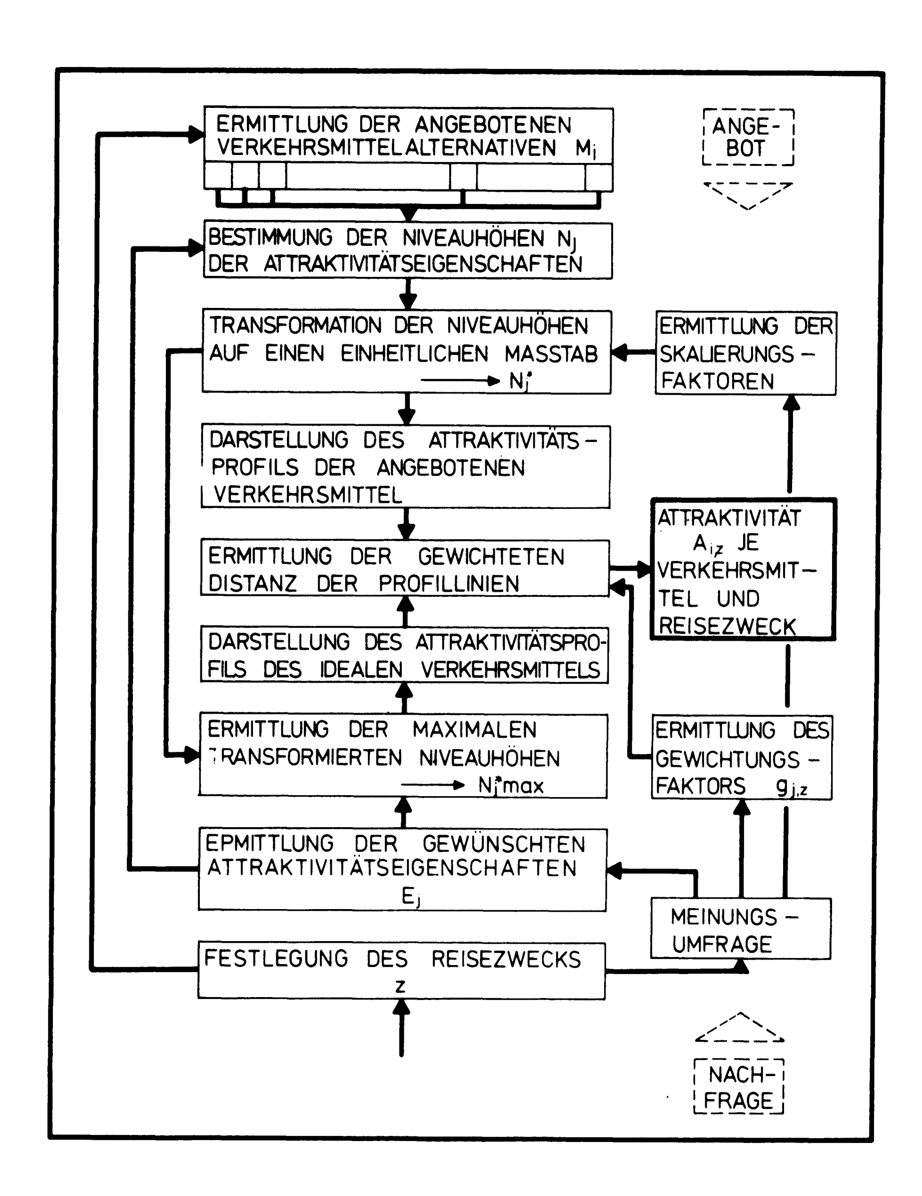


Abb. 22: Darstellung des Attraktivitätsvergleichsverfahrens

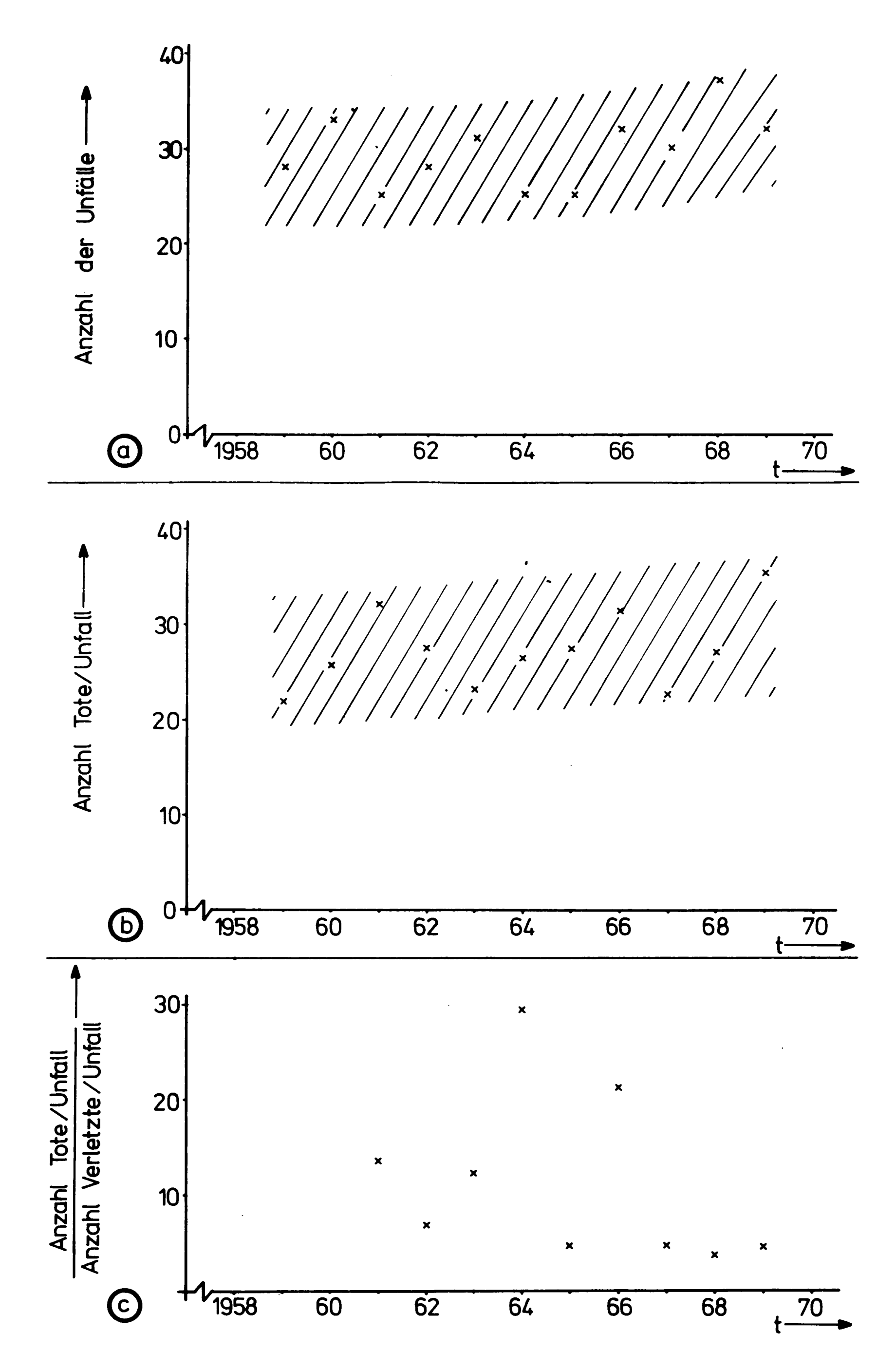


Abb. 23: Flugsicherheits-Kenngrößen

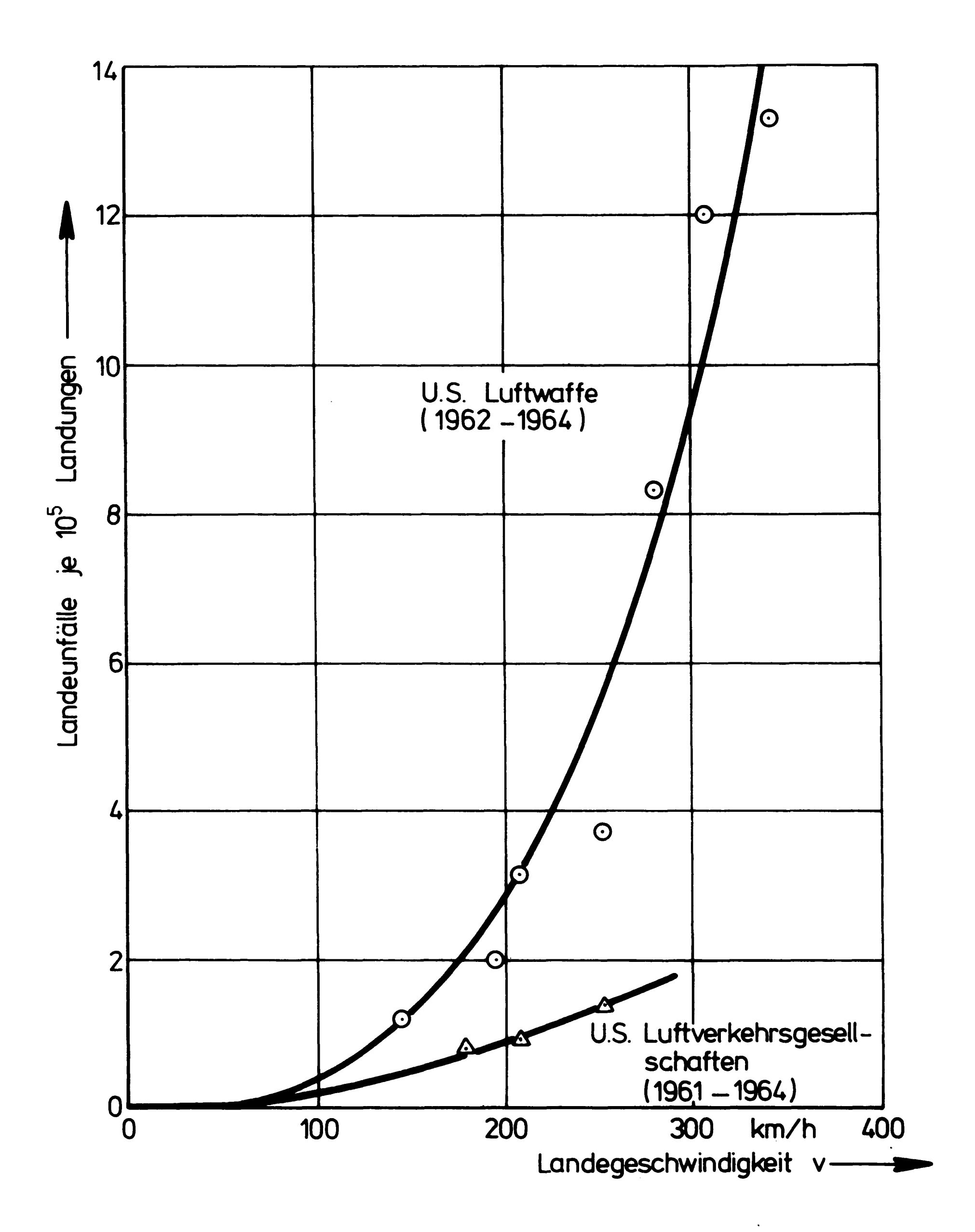


Abb. 24: Abhängigkeit der Häufigkeit von Landeunfällen von der Höhe der Landegeschwindigkeit

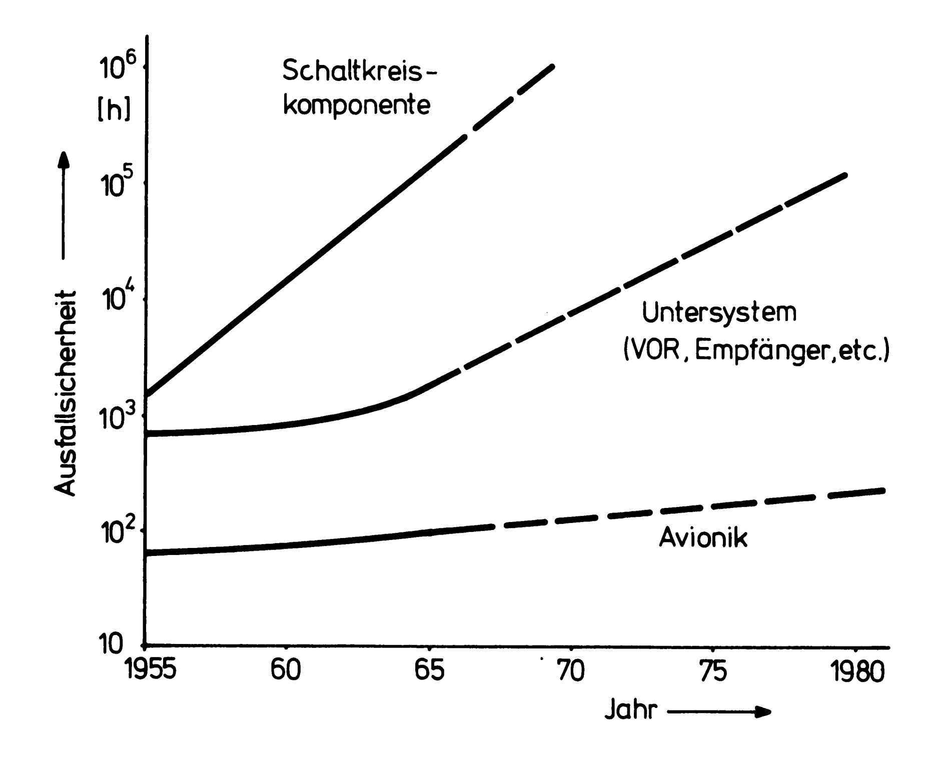
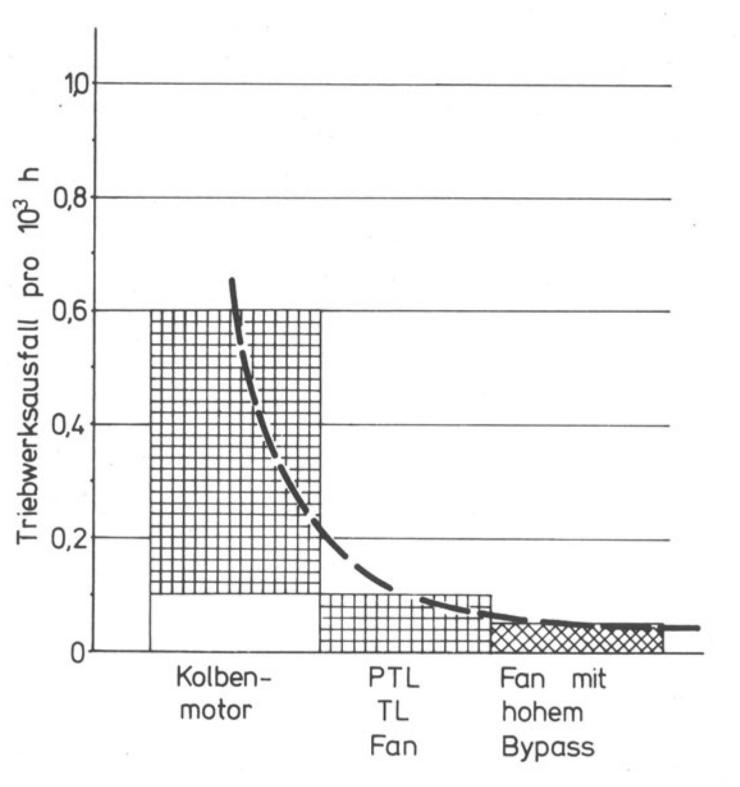


Abb. 25: Entwicklung der Ausfallsicherheit flugelektronischer Komponenten



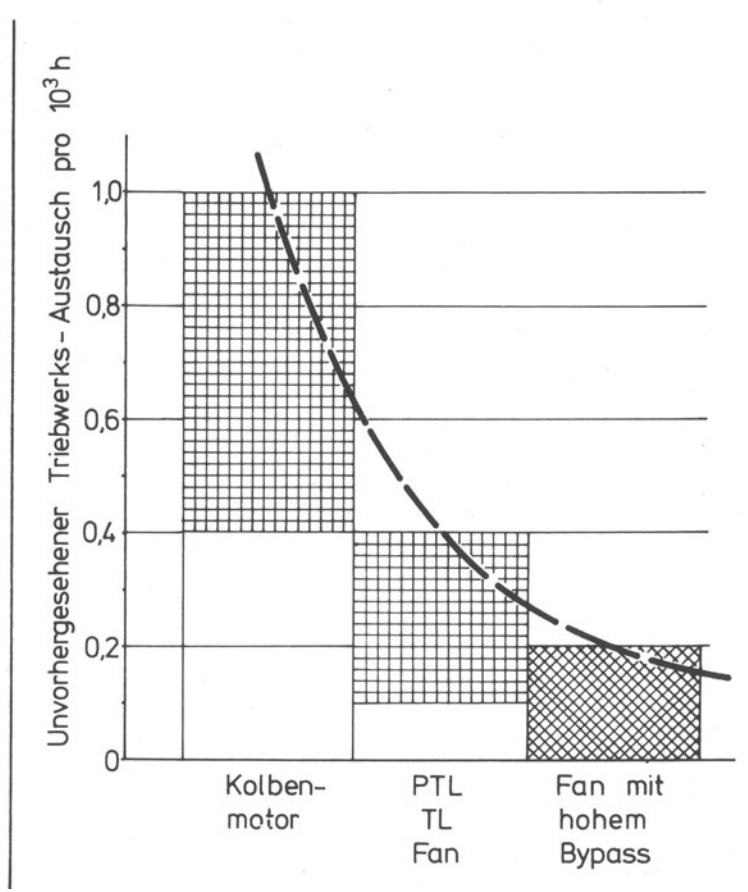


Abb. 26: Entwicklung der Ausfallsicherheit von Flugzeugantrieben

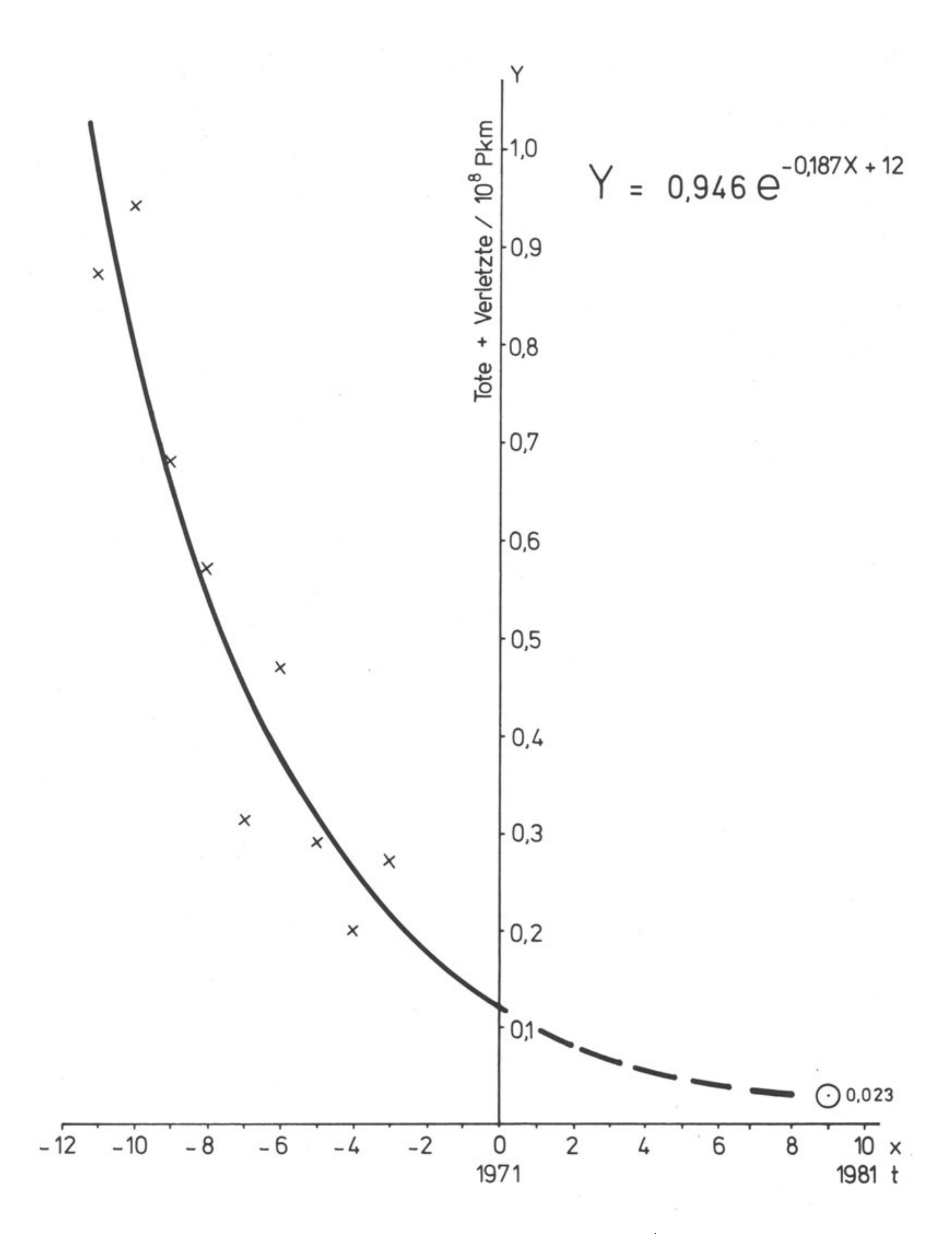
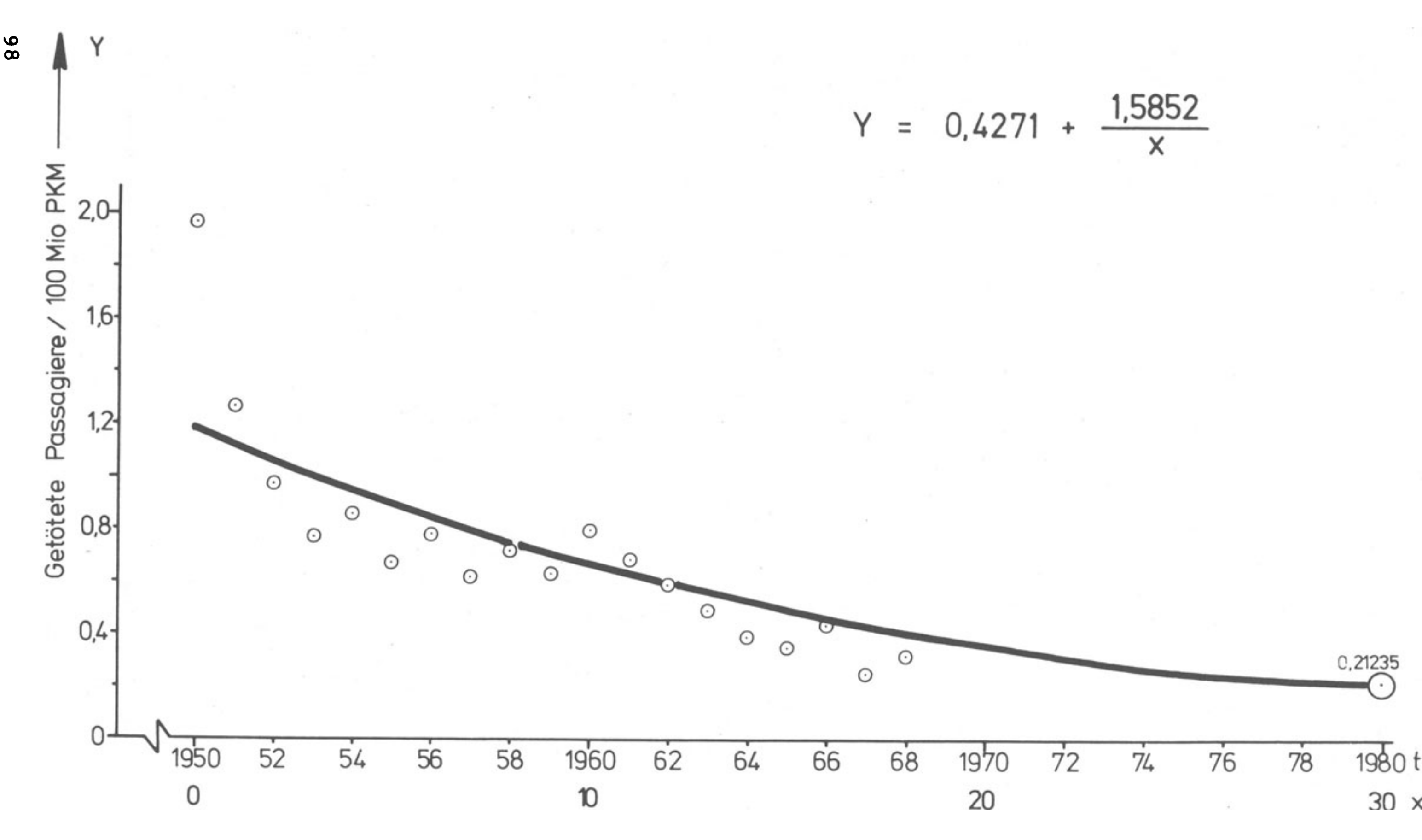


Abb. 27: Entwicklung der Zahl der Toten und Verletzten im Linienluftverkehr, bezogen auf die erbrachte Verkehrsleistung



<u>Abb. 28:</u> Entwicklung der Zahl der getöteten Passagiere im Linienluftverkehr, bezogen auf die erbrachte Verkehrsleistung (Datenbasis: ICAO)

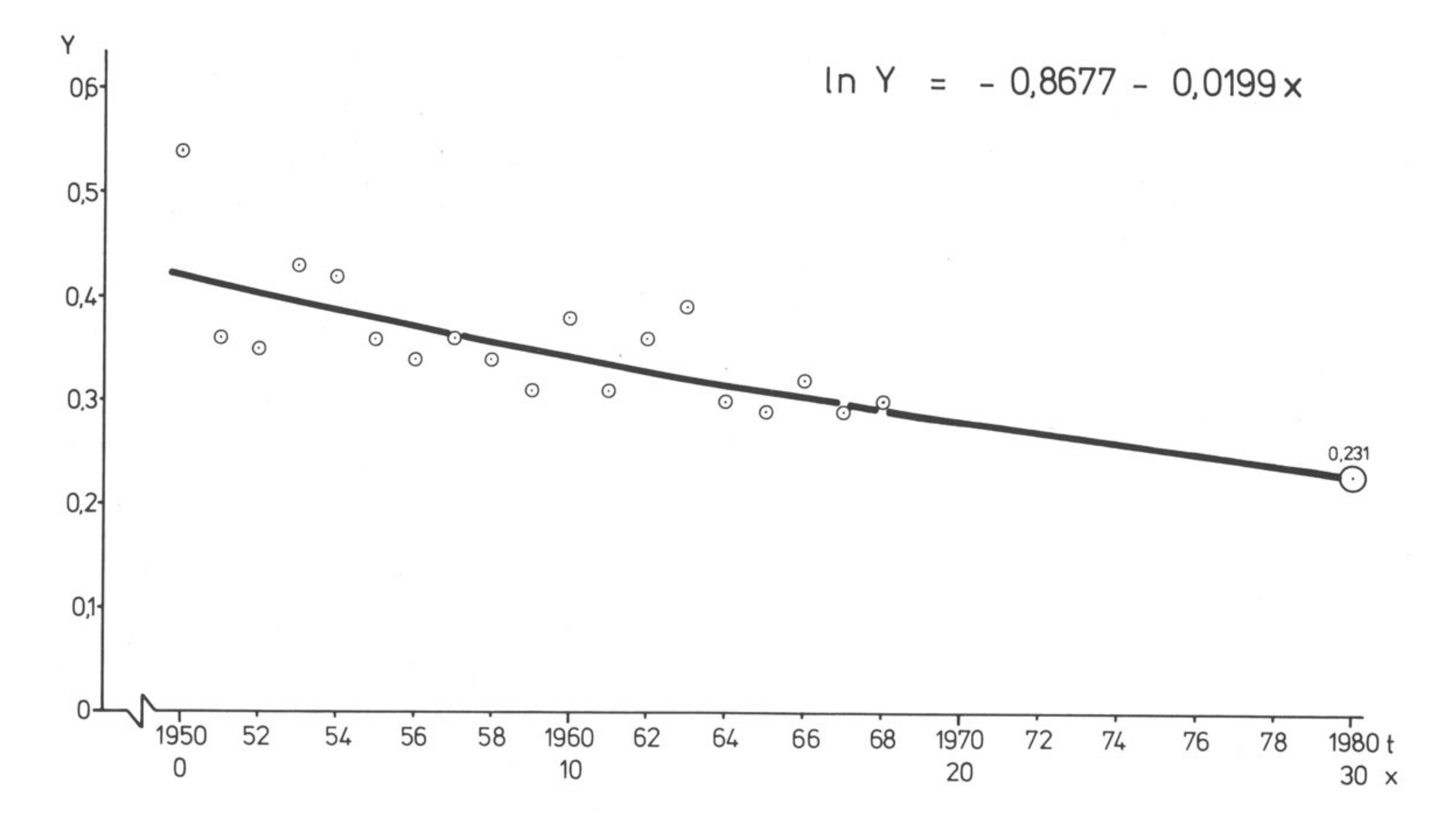


Abb. 29: Entwicklung der Zahl der tödlichen Unfälle im Linienluftverkehr, bezogen auf die jährlich erbrachten Flugstunden (Datenbasis: ICAO)

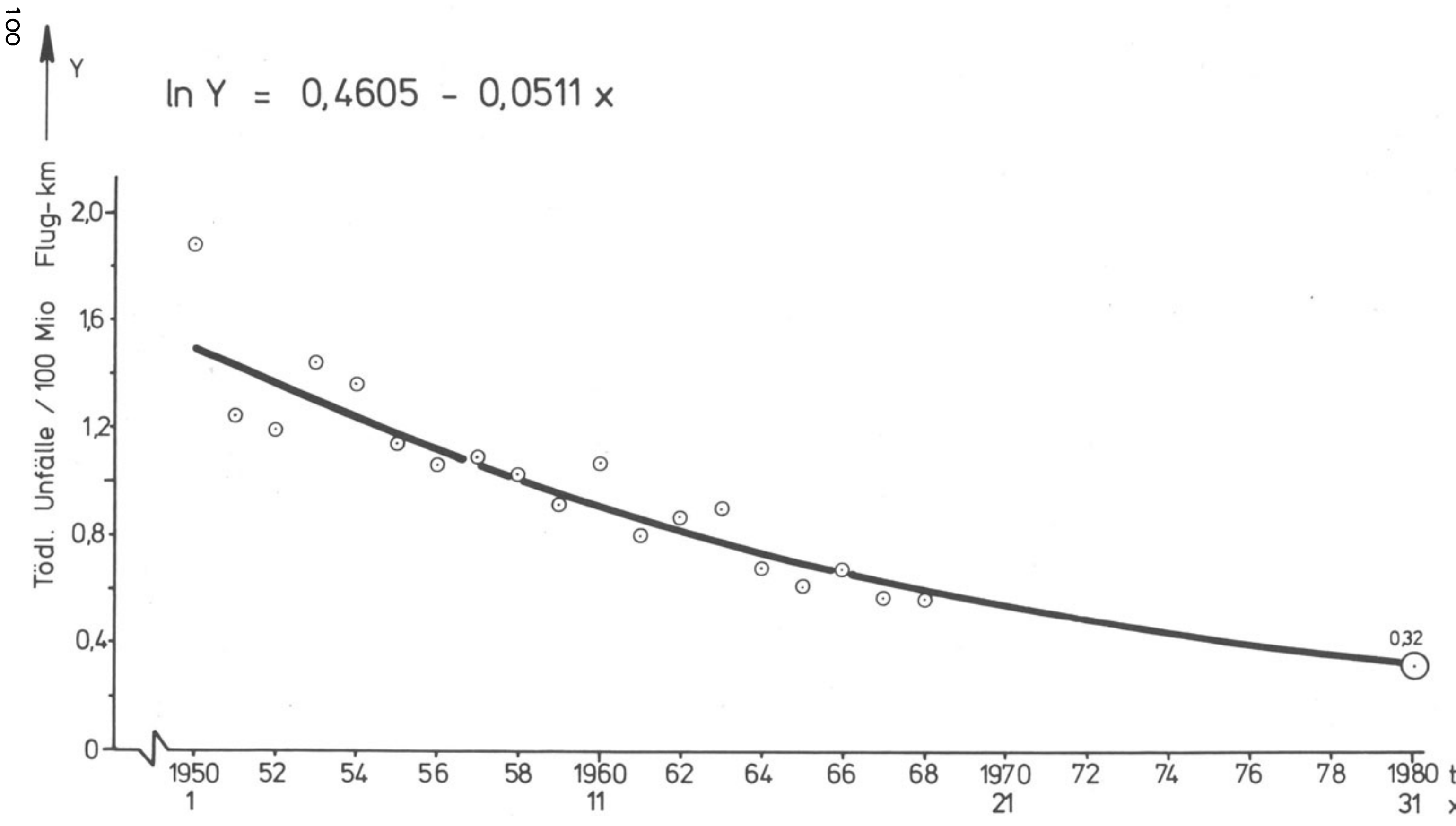


Abb. 30: Entwicklung der Zahl der tödlichen Unfälle im Linienluftverkehr, bezogen auf die jährlich zurückgelegte Flugstrecke (Datenbasis: ICAO)

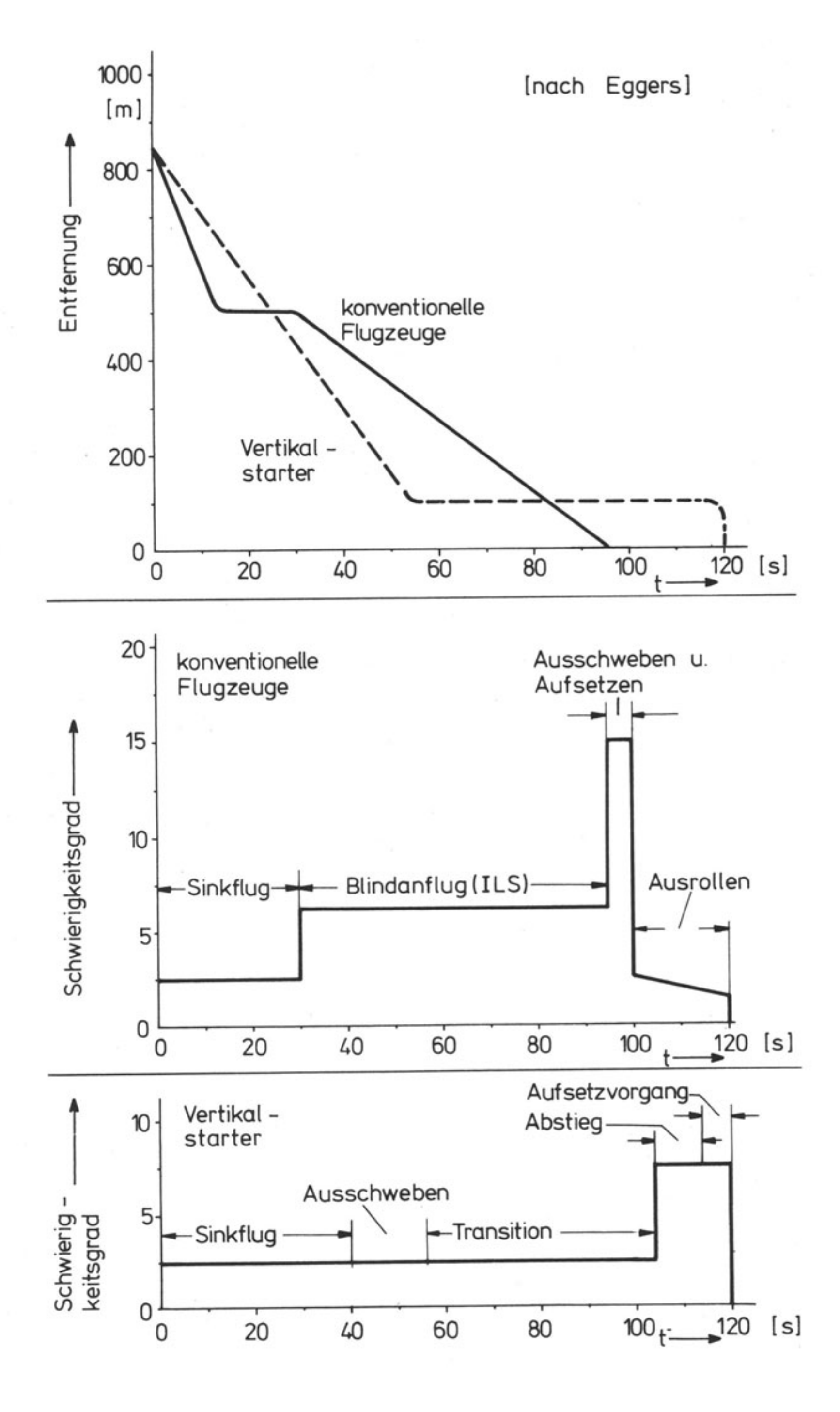


Abb. 31: Vergleich des Schwierigkeitsgrads der Landung konventioneller Flugzeuge mit demjenigen eines VTOL-Projekts (nach Eggers)

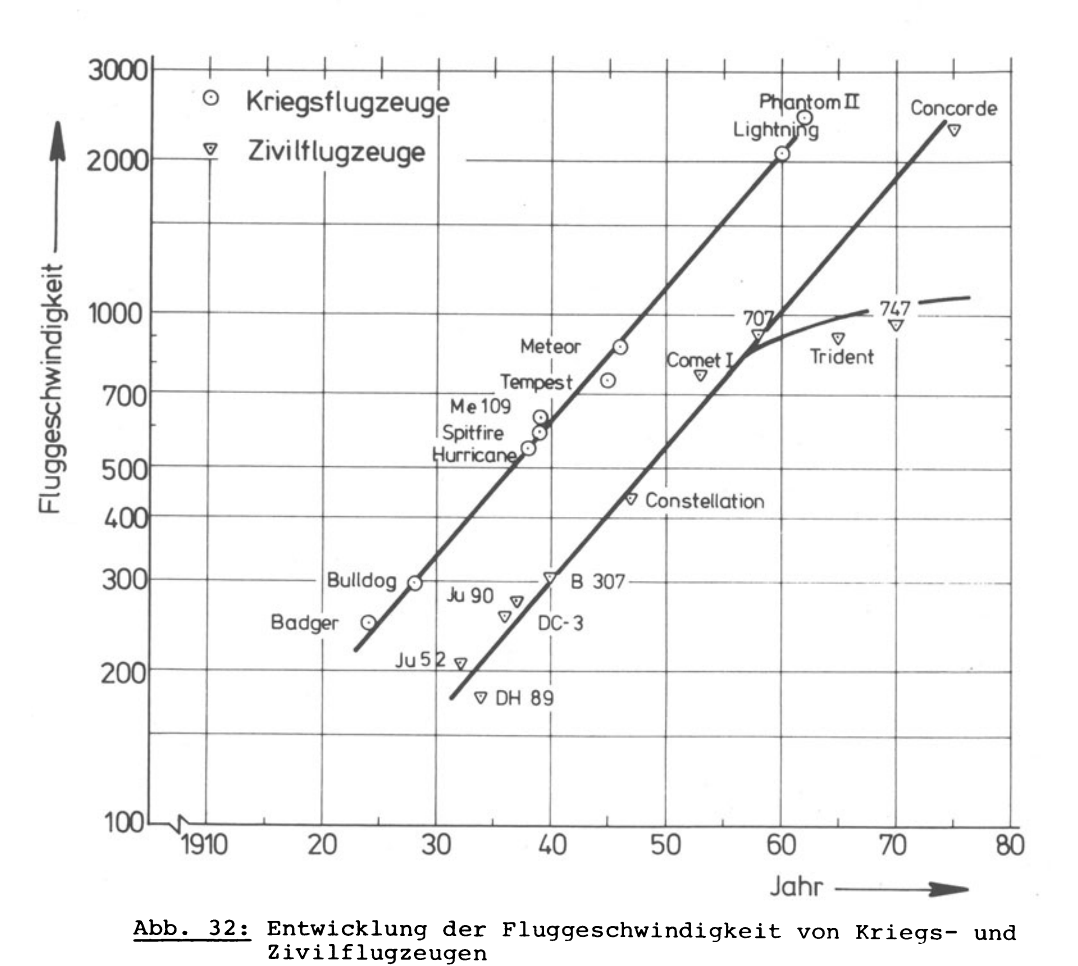


Abb. 32: Entwicklung der Fluggeschwindigkeit von Kriegs- und Zivilflugzeugen

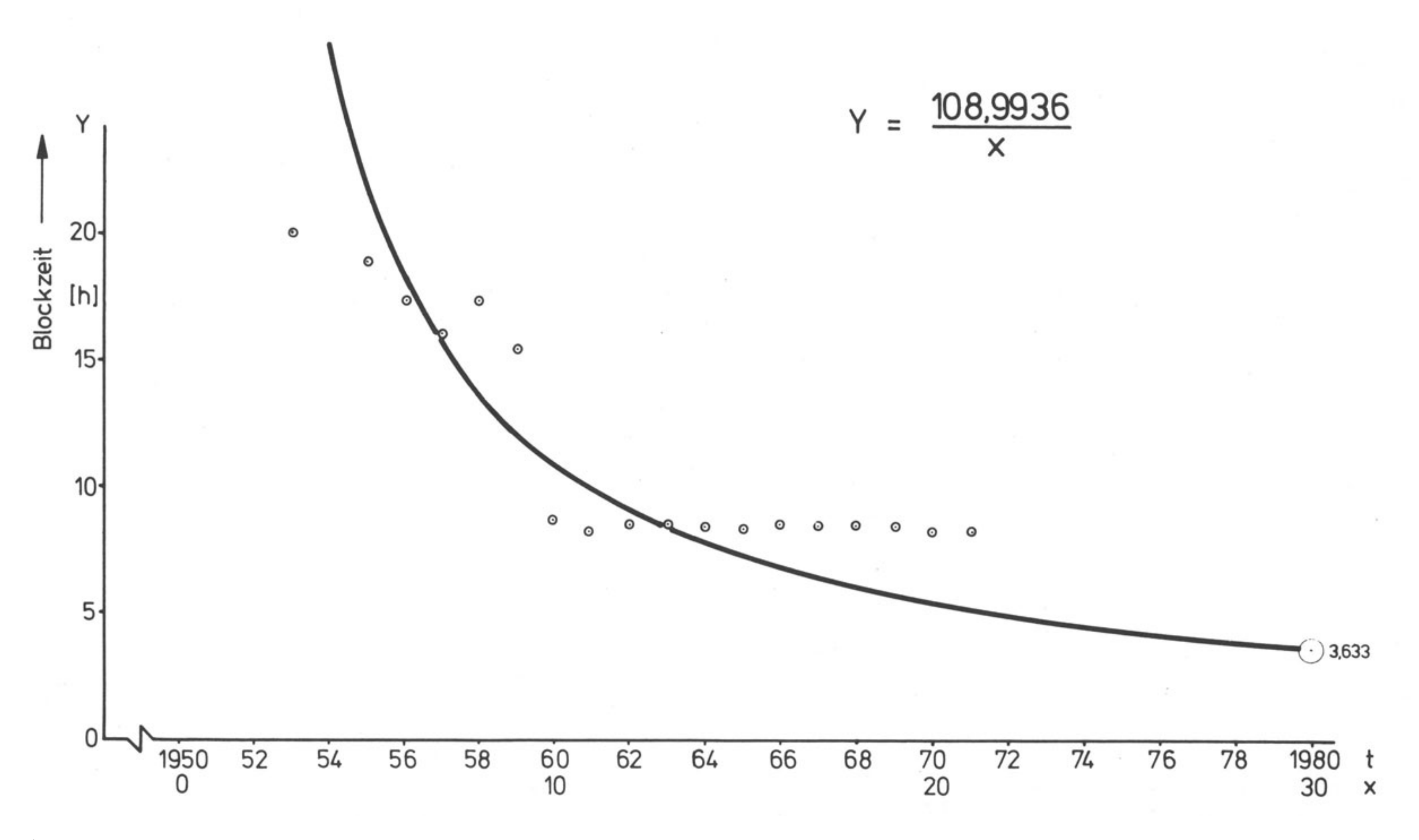


Abb. 33: Entwicklung der Blockzeit auf der Flugstrecke FRA-NYC

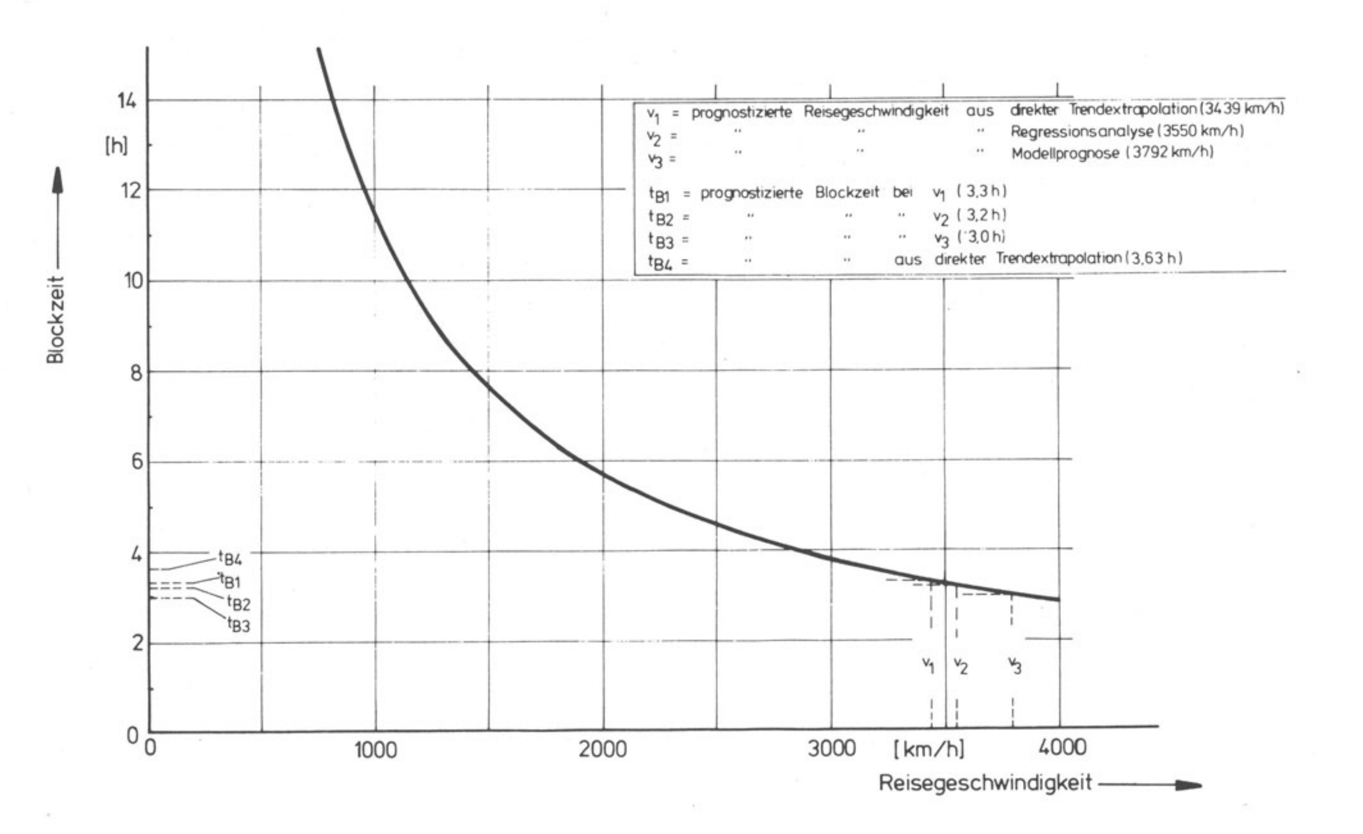


Abb. 34: Darstellung der Korrelation zwischen der Reisefluggeschwindigkeit des jeweils schnellsten Langstrecken-Verkehrsflugzeugs und der jeweils kürzesten Blockzeit (lt. Flugplan) auf der Strecke FRA-NYC

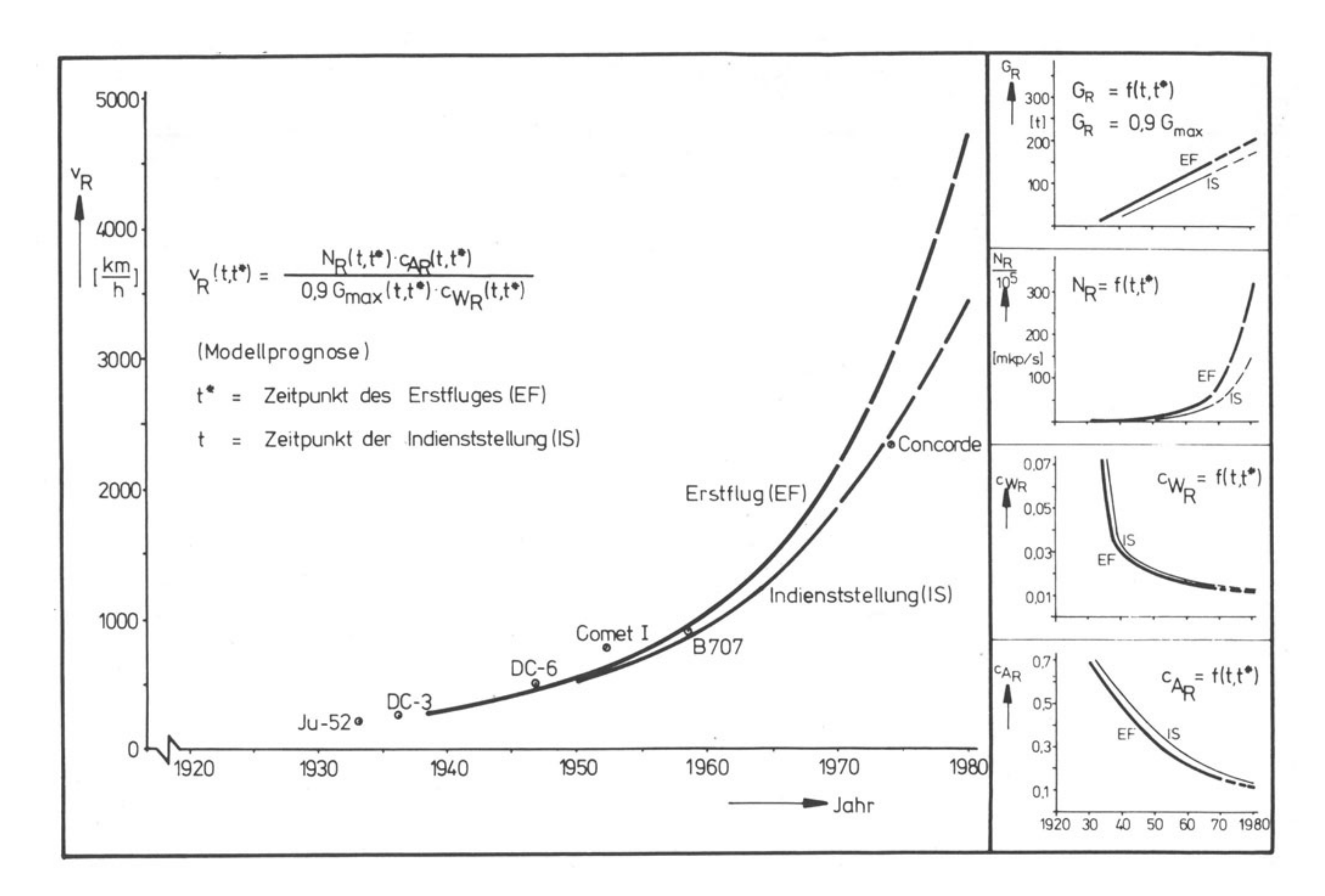


Abb. 35: Darstellung einer Modellprognose der Reisefluggeschwindigkeit von Langstrecken-Verkehrsflugzeugen

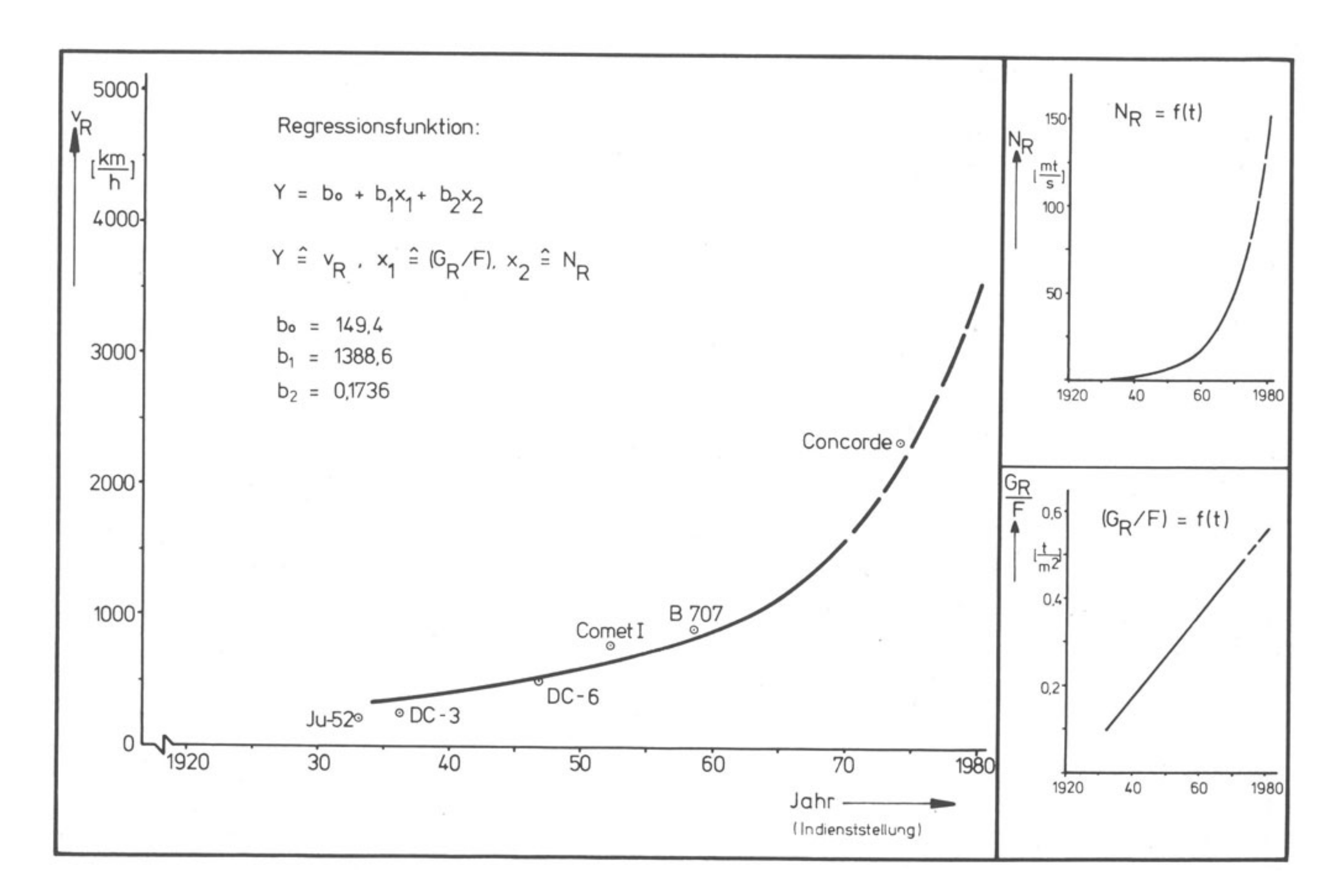


Abb. 36: Darstellung einer Regressionsanalyse der Reisefluggeschwindigkeit von Langstrecken-Verkehrsflugzeugen

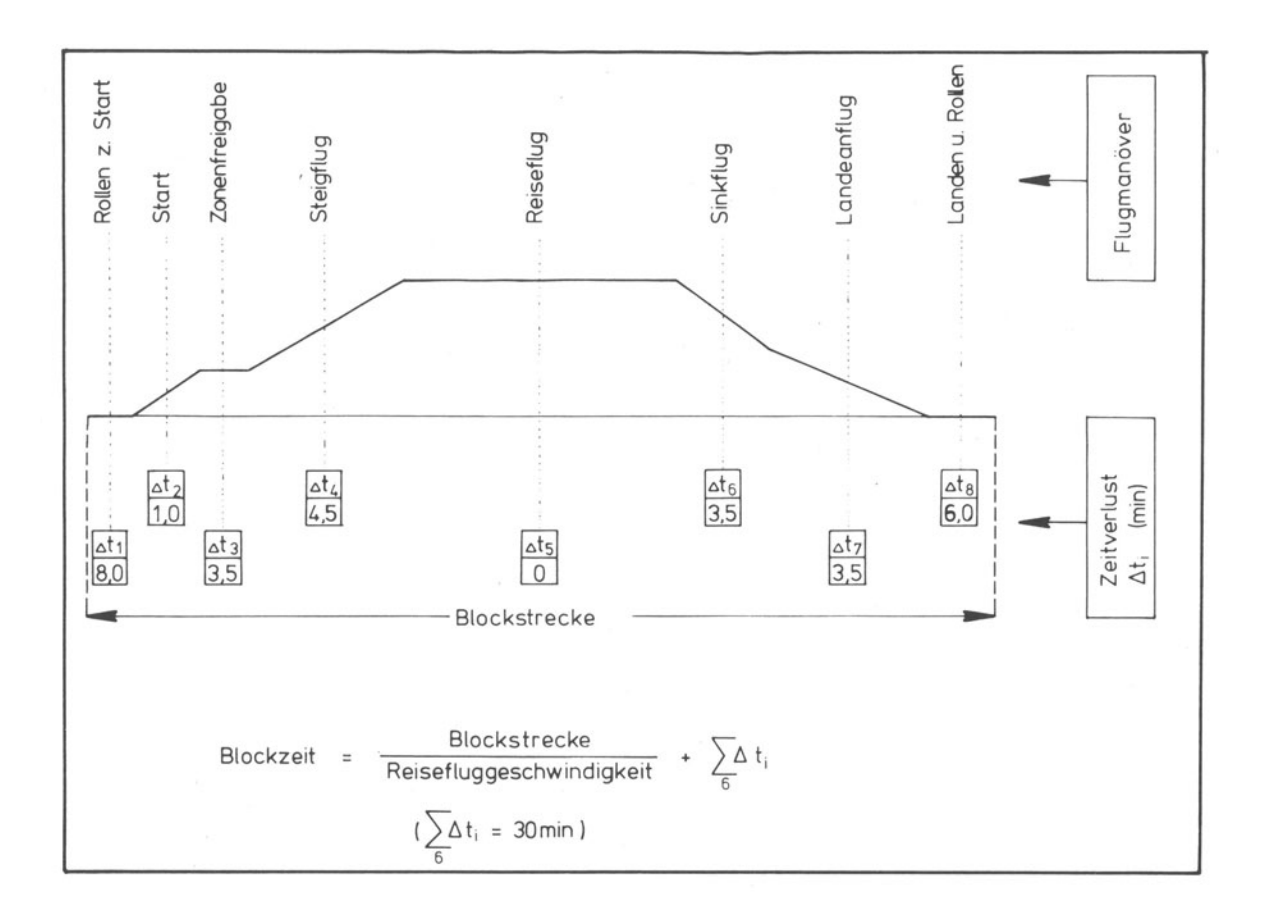


Abb. 37: Schematische Darstellung der Blockzeit-Anteile

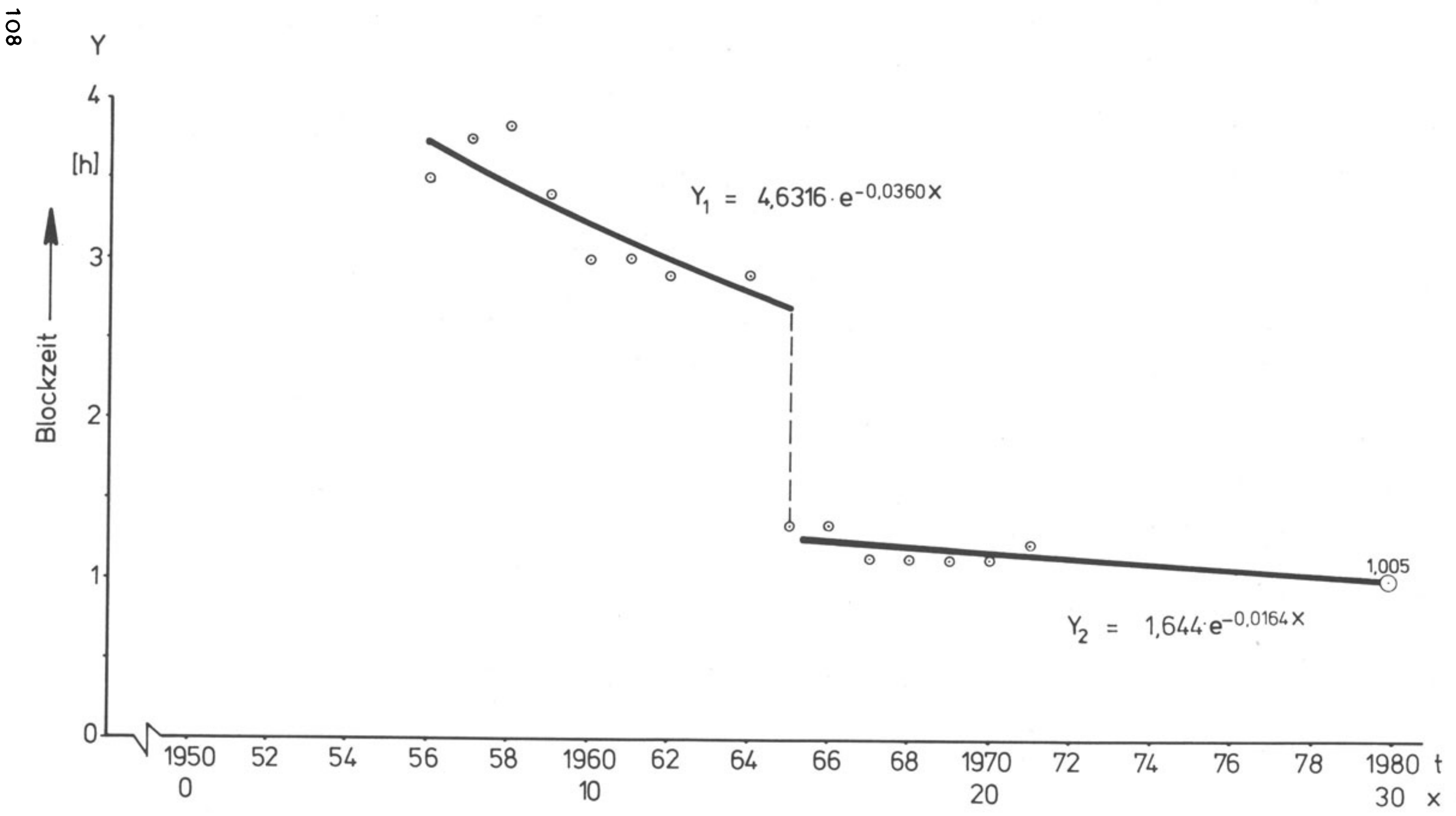


Abb. 38: Entwicklung der Blockzeit auf der Flugstrecke München-Hamburg

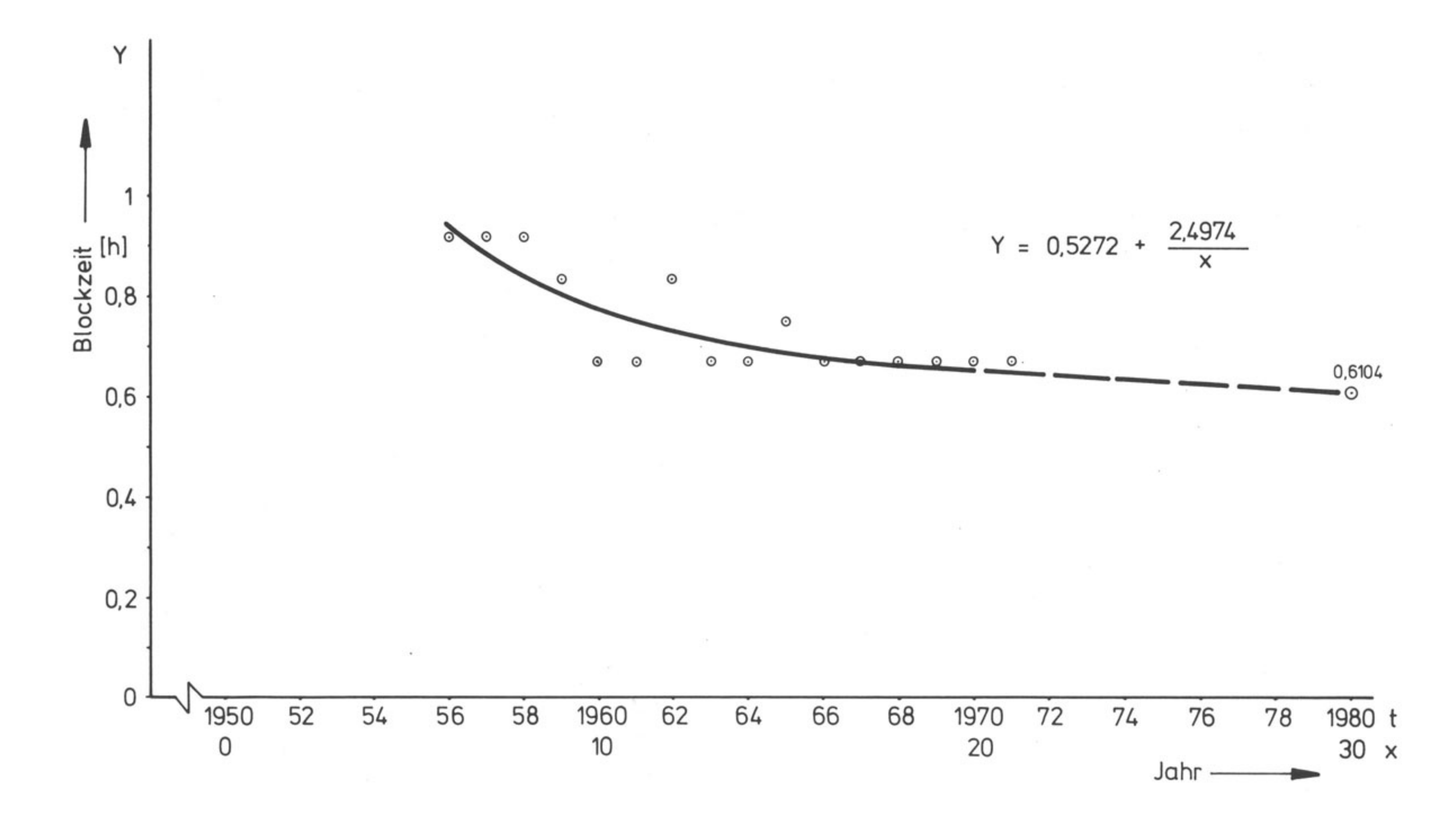


Abb. 39: Entwicklung der Blockzeit auf der Flugstrecke Köln-Frankfurt

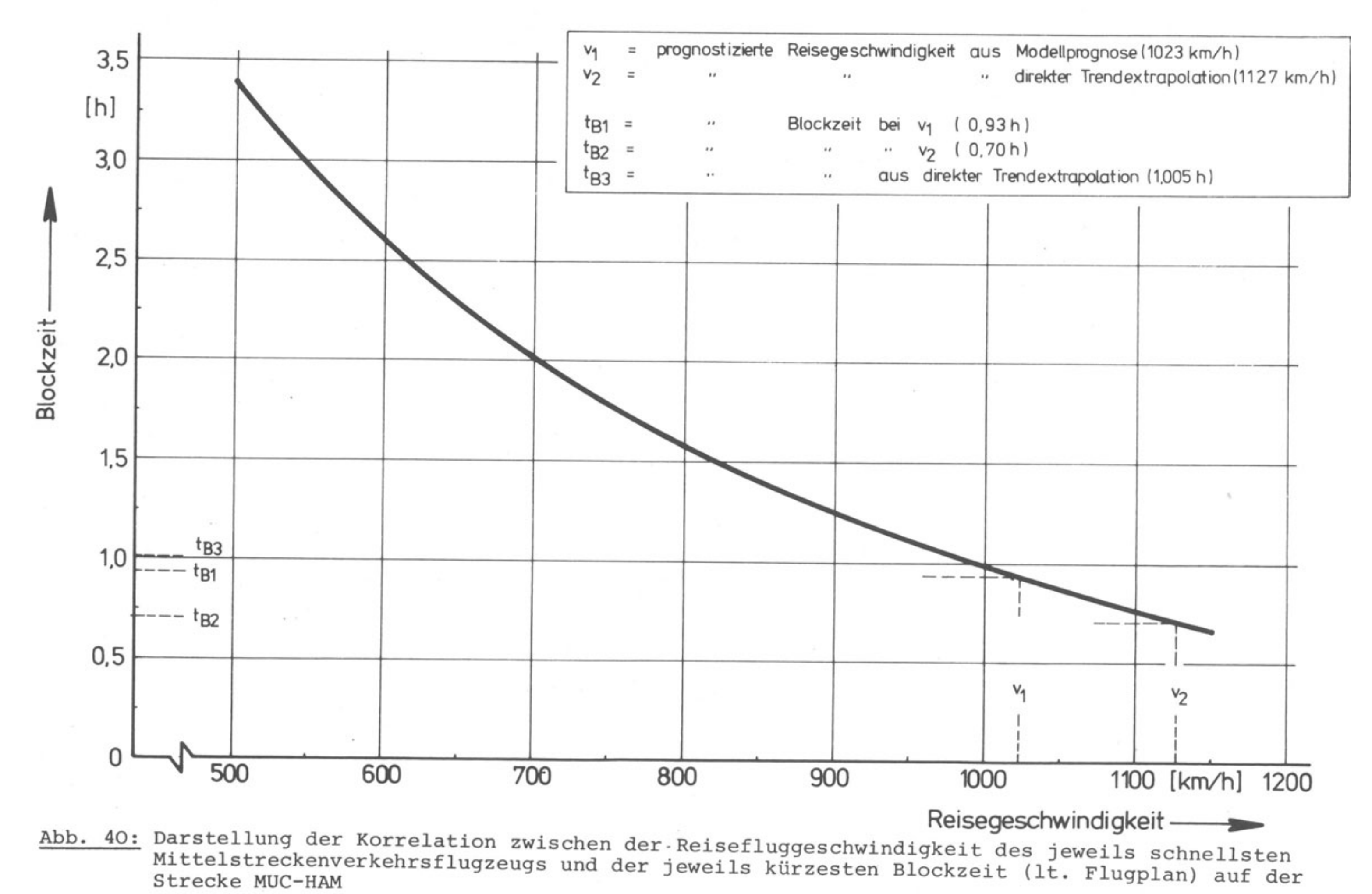


Abb. 40: Darstellung der Korrelation zwischen der Reisefluggeschwindigkeit des jeweils schnellsten Mittelstreckenverkehrsflugzeugs und der jeweils kürzesten Blockzeit (lt. Flugplan) auf der Strecke MUC-HAM

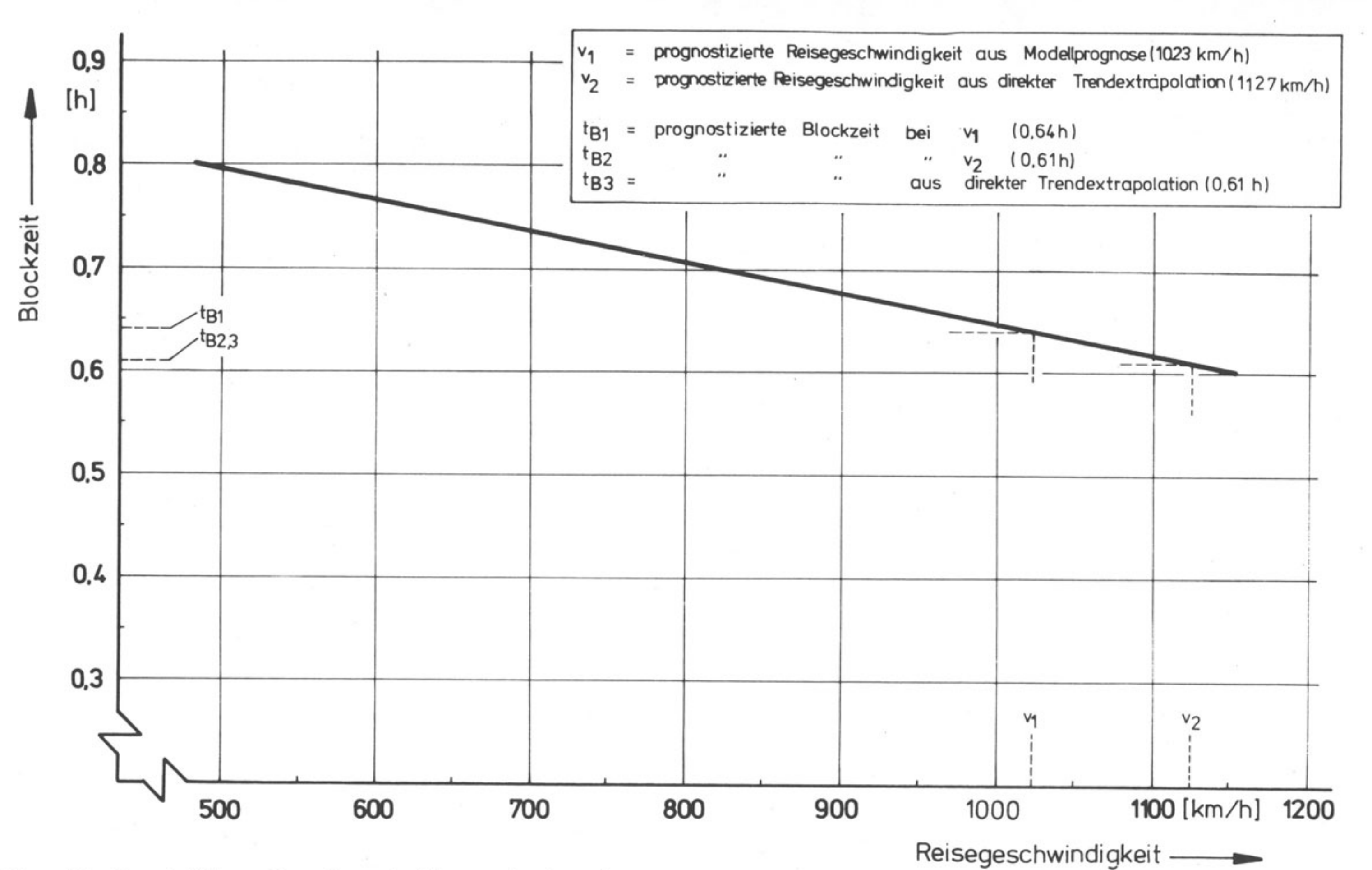


Abb. 41: Darstellung der Korrelation zwischen der Reisefluggeschwindigkeit des jeweils schnellsten Kurz- oder Mittelstreckenverkehrsflugzeugs und der jeweils kürzesten Blockzeit (lt. Flugplan) auf der Strecke Köln-Frankfurt

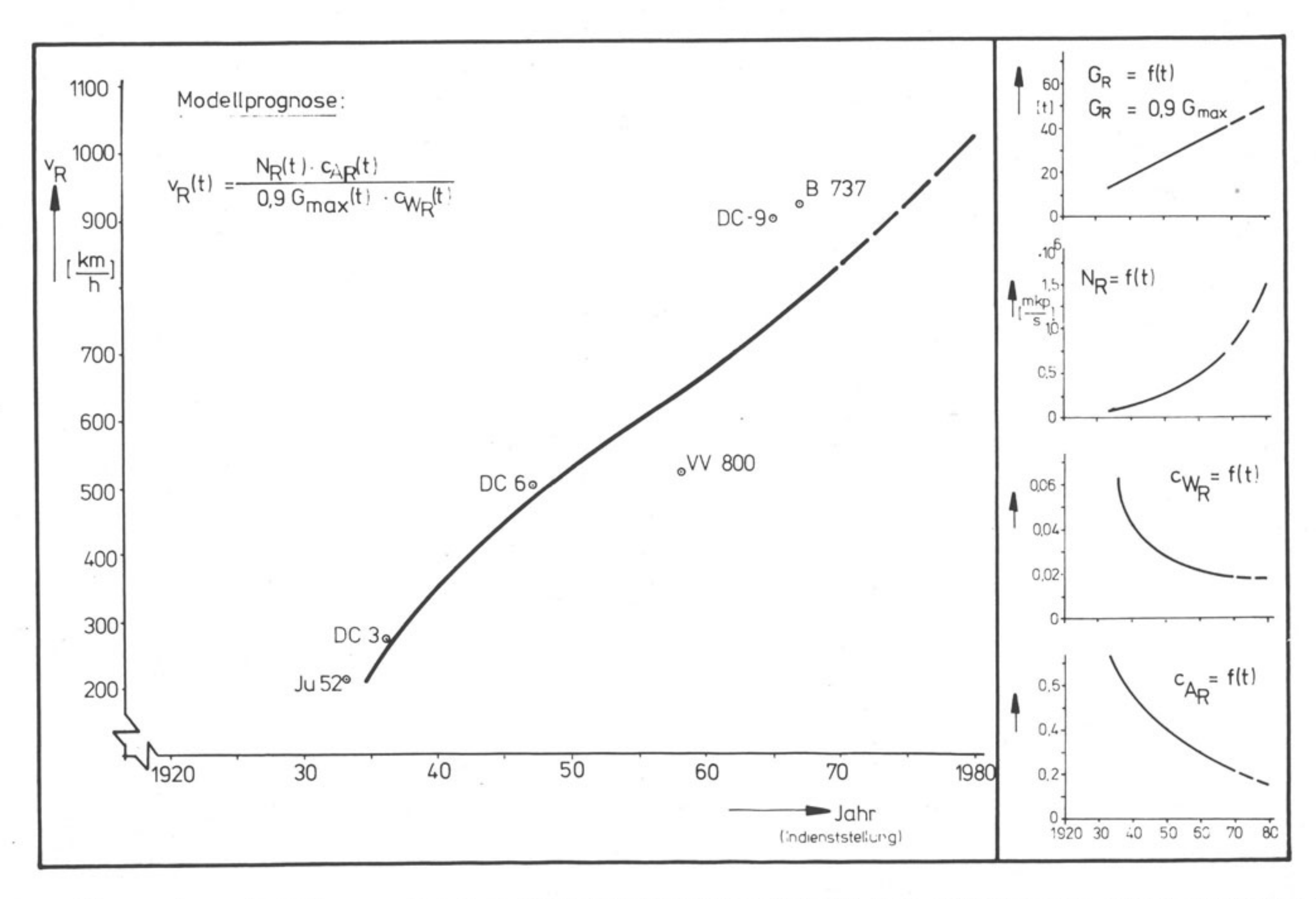


Abb. 42: Darstellung einer Modellprognose der Reisefluggeschwindigkeit von Mittel- und Kurzstrecken-Verkehrsflugzeugen

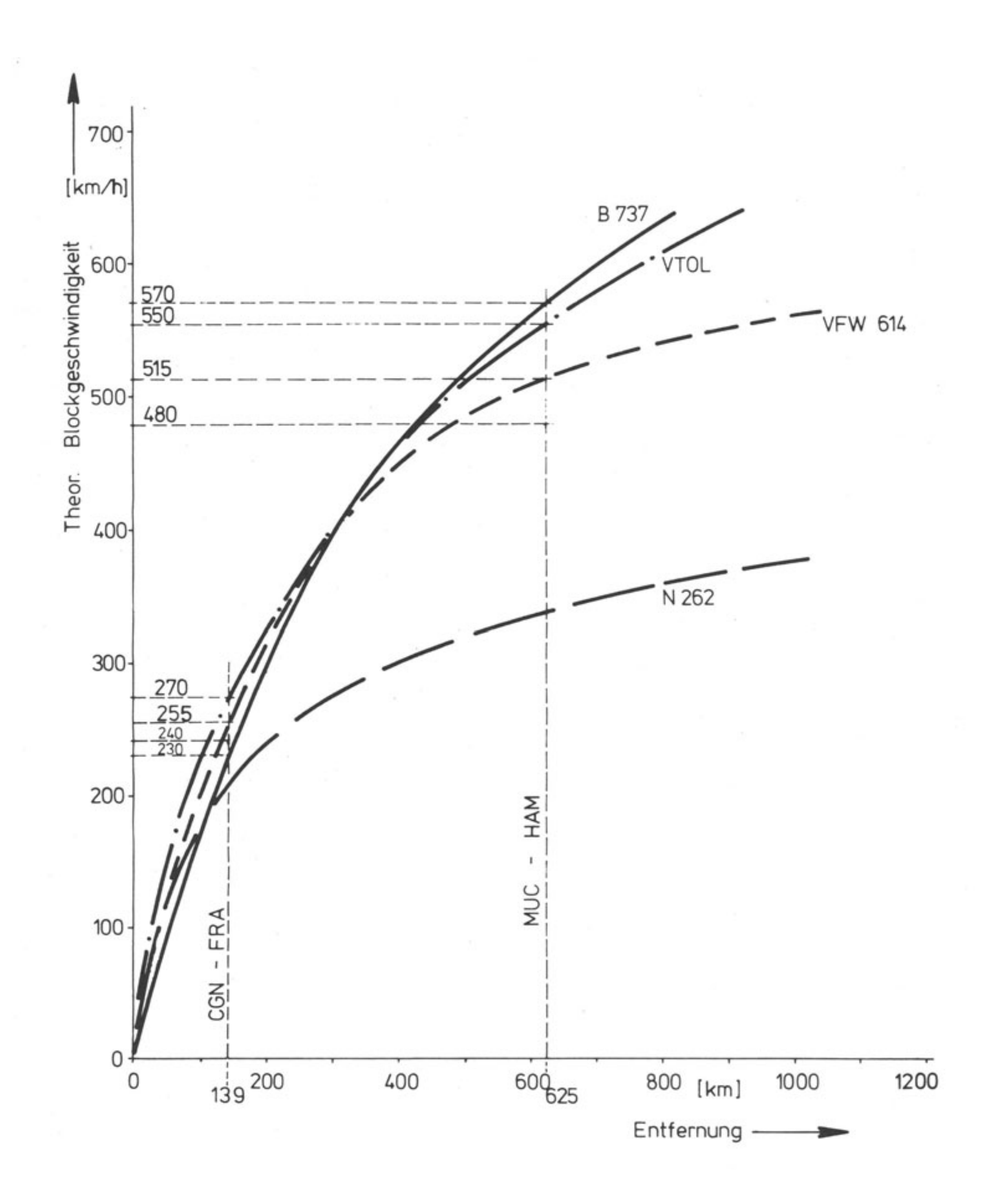
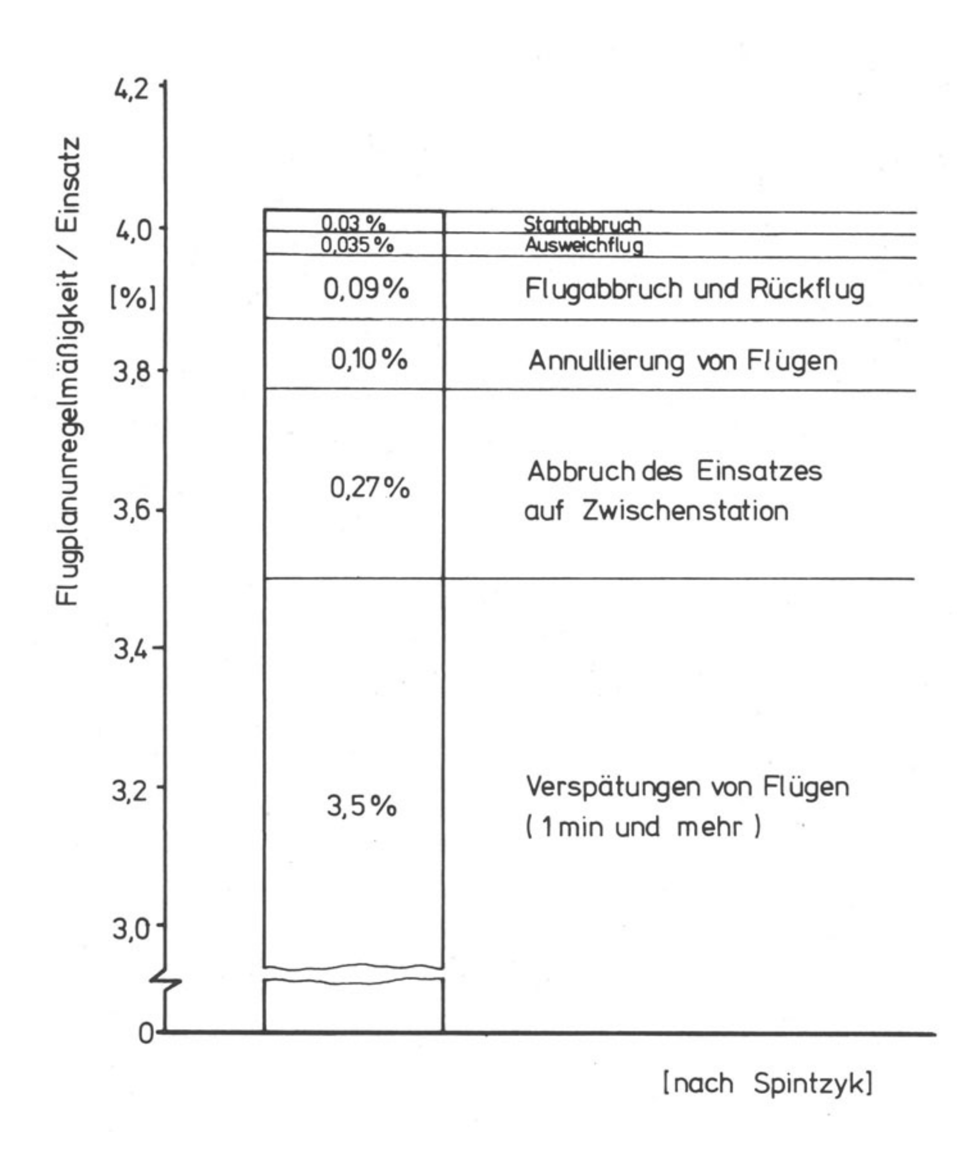


Abb. 43: Blockgeschwindigkeitsdiagramme von Mittel- und Kurzstrecken-Verkehrsflugzeugen



<u>Abb. 44:</u> Ursachen von Unpünktlichkeiten im Linienluftverkehr

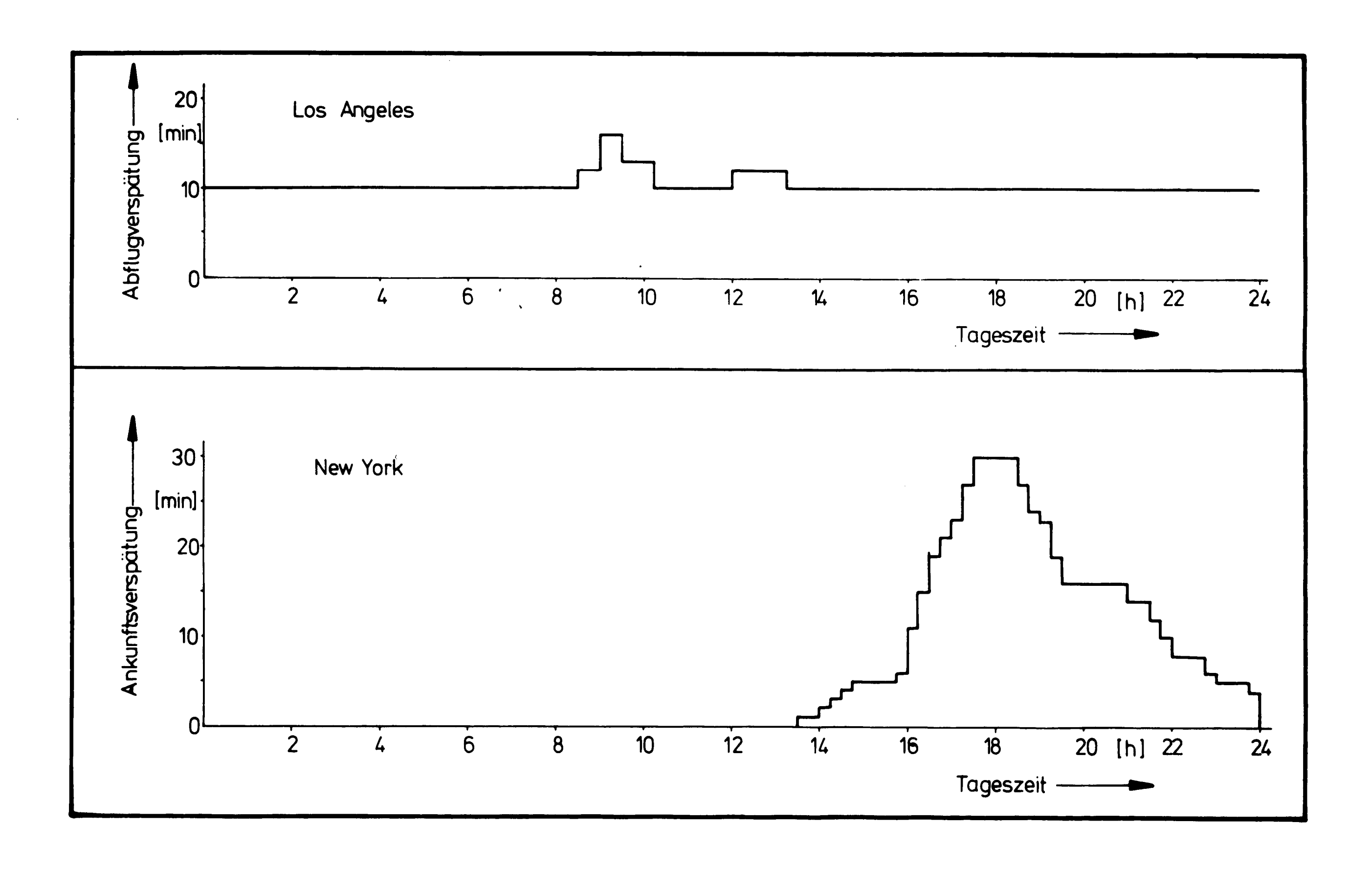
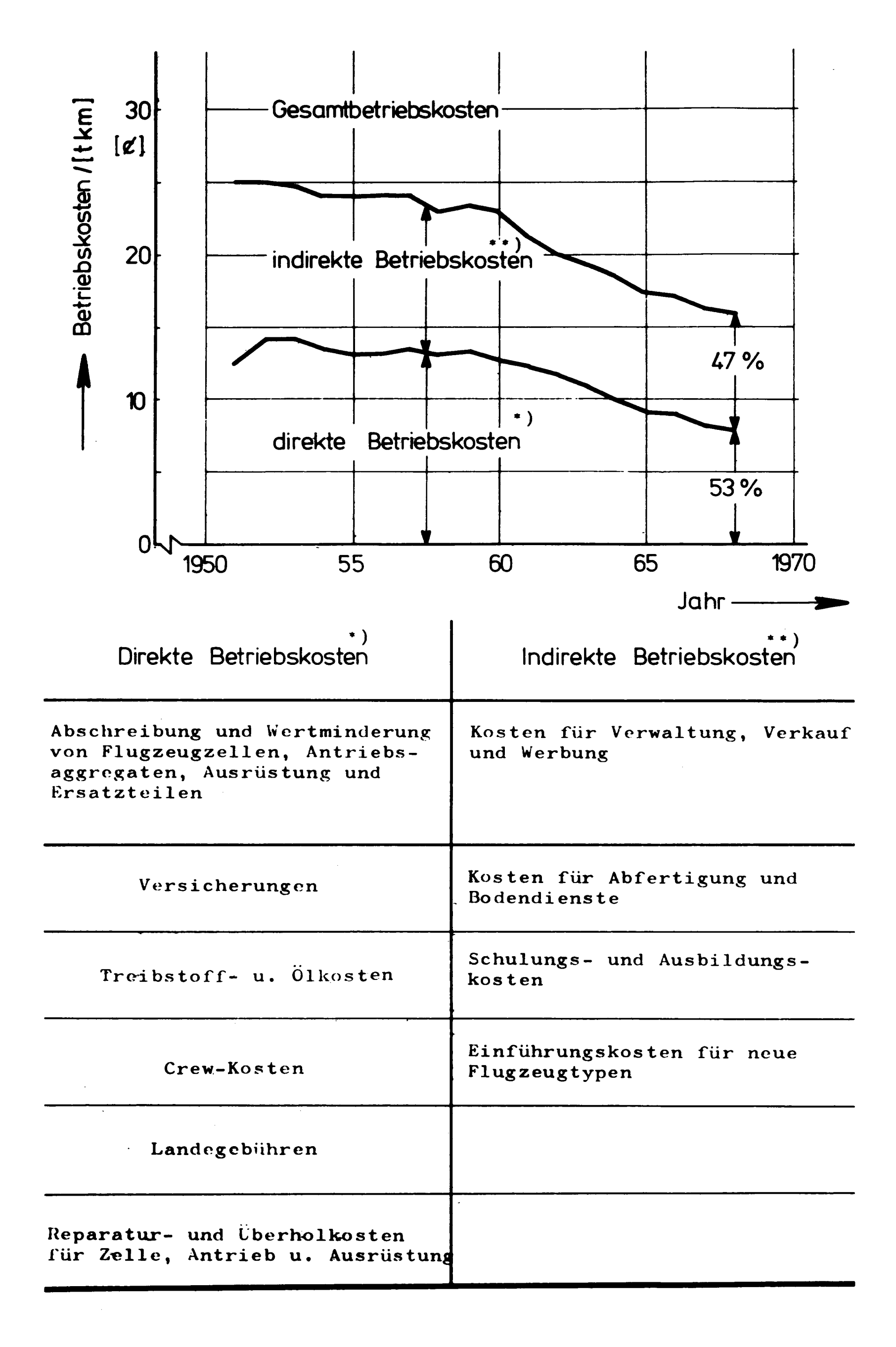


Abb. 45: Start- und Ankunftsverzögerung im Luftverkehr in Abhängigkeit von der Tageszeit, dargestellt am Beispiel des JFK-Airports New York



Direkte Betriebskosten *)	Indirekte Betriebskosten **)
Abschreibung und Wertminderung von Flugzeugzellen, Antriebsaggregaten, Ausrüstung und Ersatzteilen	Kosten für Verwaltung, Verkauf und Werbung
Versicherungen	Kosten für Abfertigung und Bodendienste
Treibstoff- u. Ölkosten	Schulungs- und Ausbildungskosten
Crew-Kosten	Einführungskosten für neue Flugzeugtypen
Landegebühren	
Reparatur- und Überholkosten für Zelle, Antrieb u. Ausrüstung	

Abb. 46: Entwicklung der direkten und indirekten Betriebskosten im Linienluftverkehr

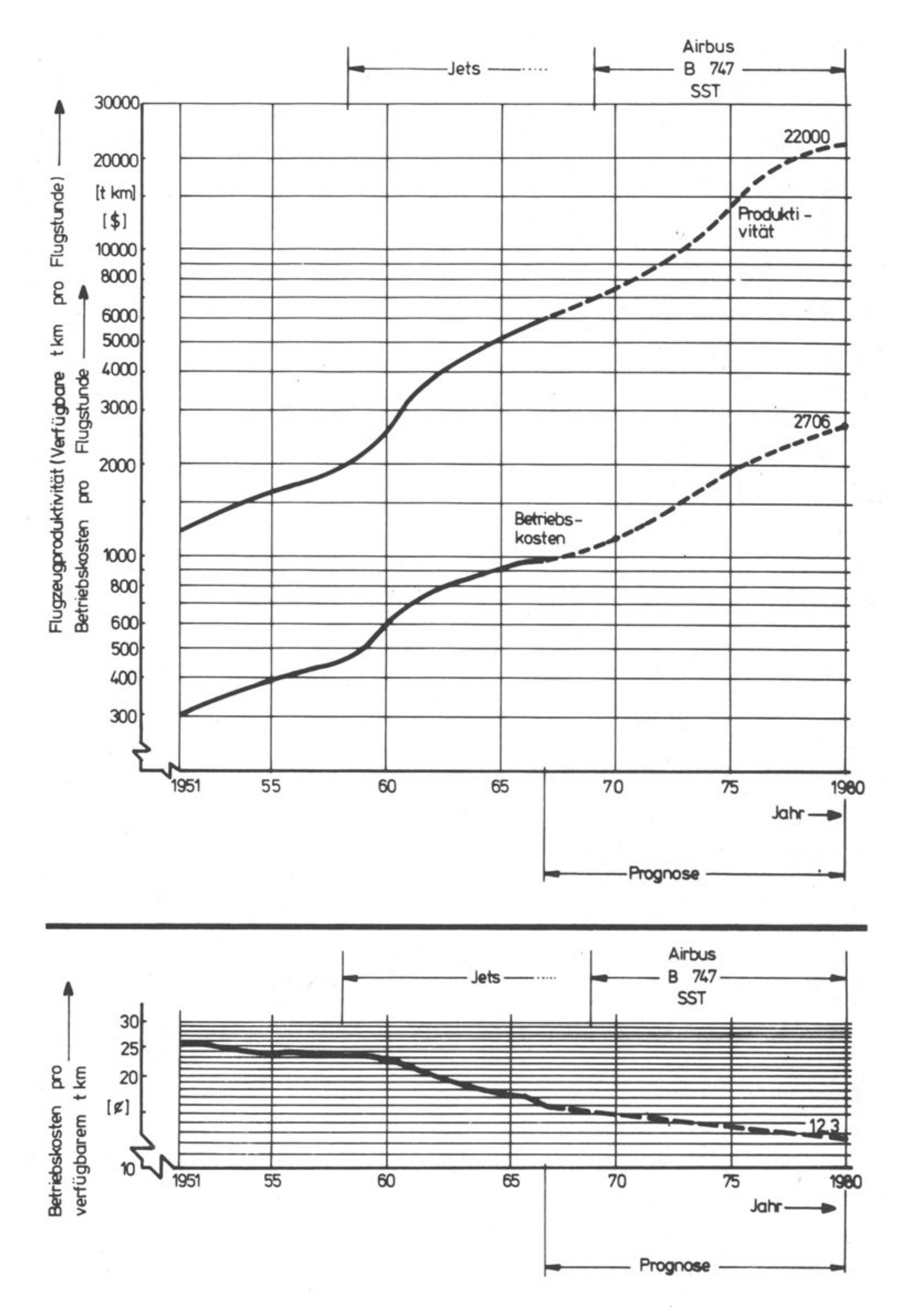
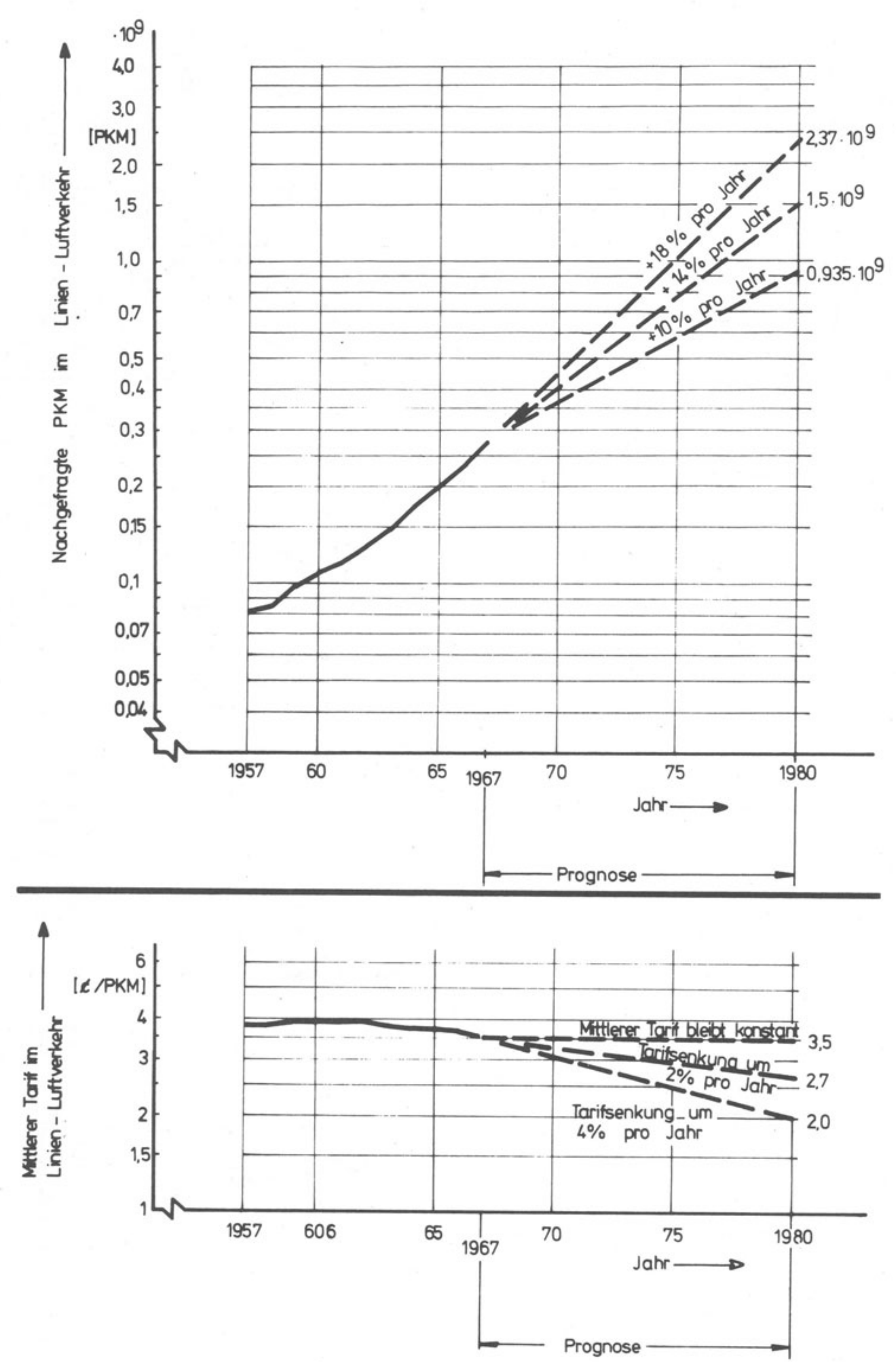


Abb. 47: Entwicklung der Flugzeugbetriebskosten und der Flugzeugproduktivität (ICAO)



<u>Abb. 48:</u> Entwicklung des Flugtarif-Mittelwerts und der Verkehrsleistung im Personenluftverkehr (ICAO)

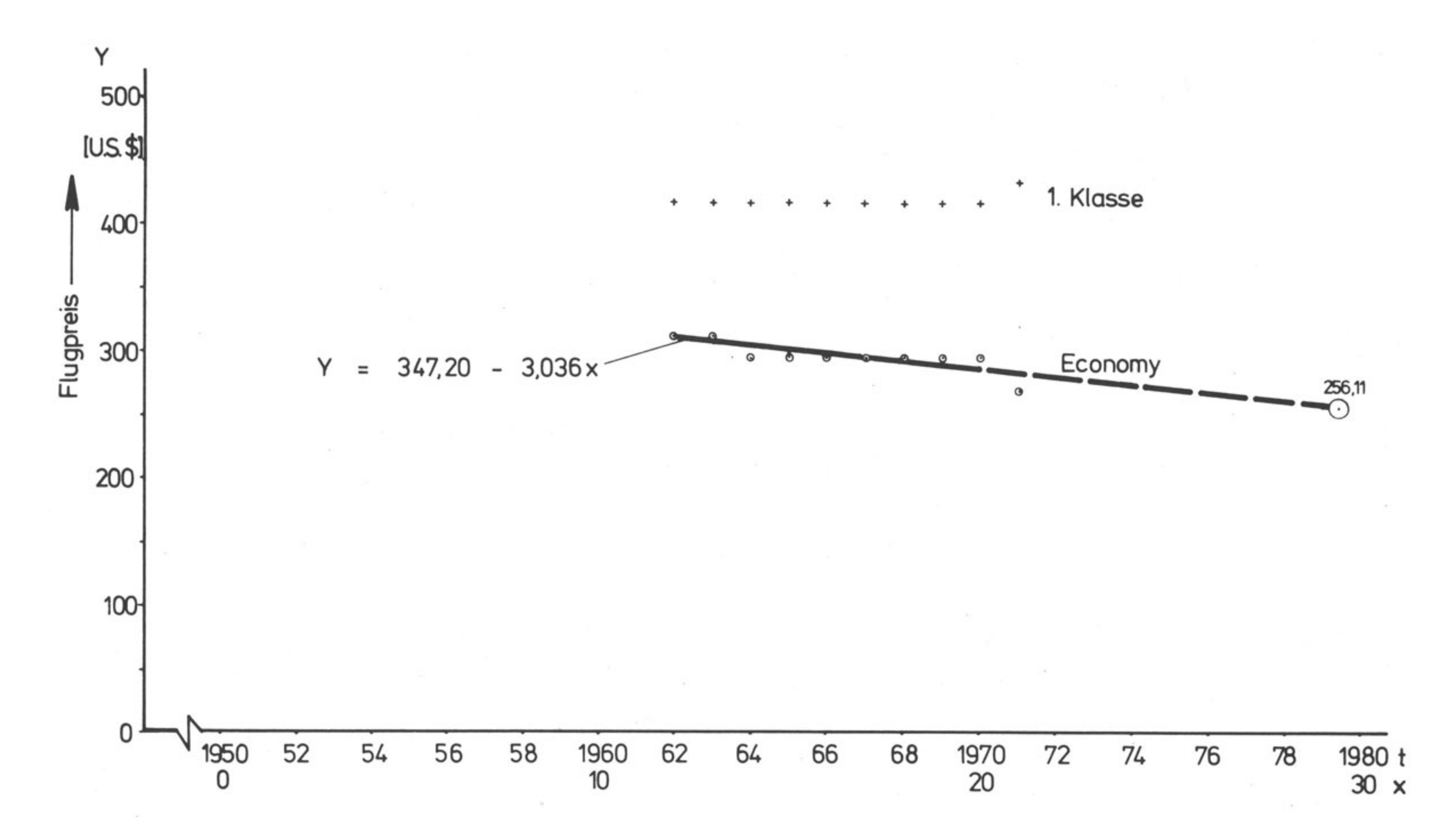


Abb. 49: Entwicklung der Flugtarife im planmäßigen Luftverkehr auf der Strecke Frankfurt-New York

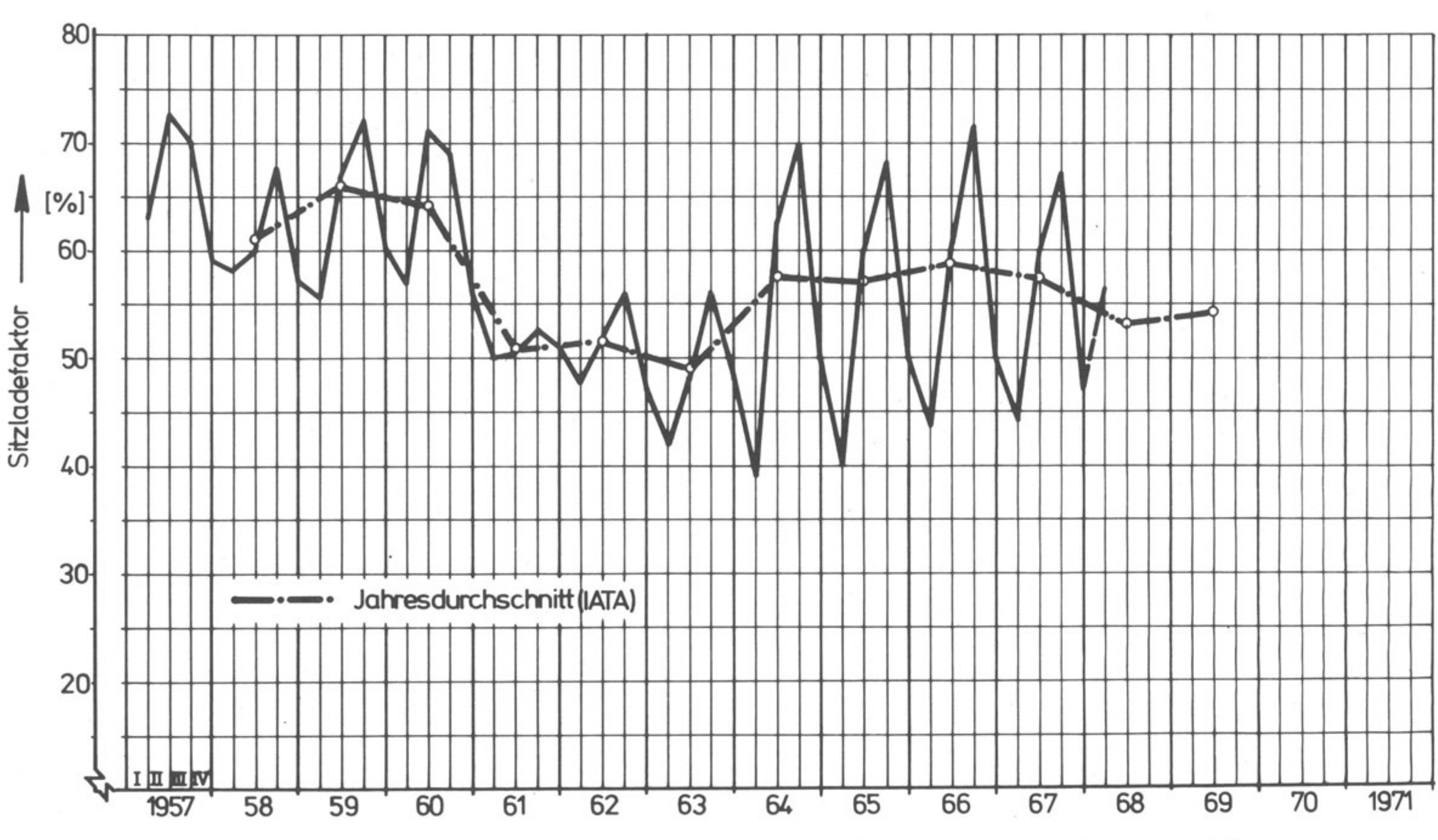


Abb. 50: Darstellung der saisonalen Schwankungen des Sitzladefaktors im planmäßigen Nordatlantik-Luftverkehr

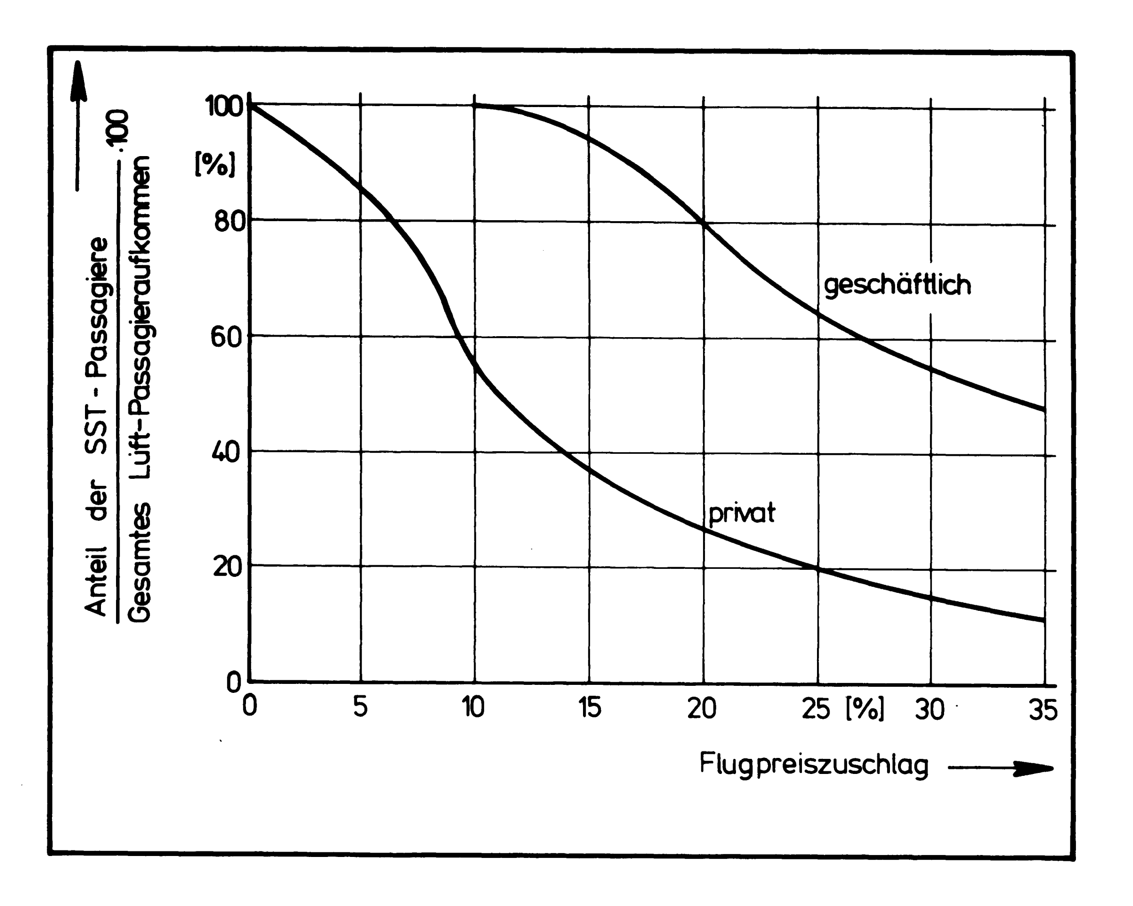


Abb. 51: Abschätzung des SST-Verkehrsaufkommens in Abhängigkeit von der Höhe des SST-Tarifzuschlags

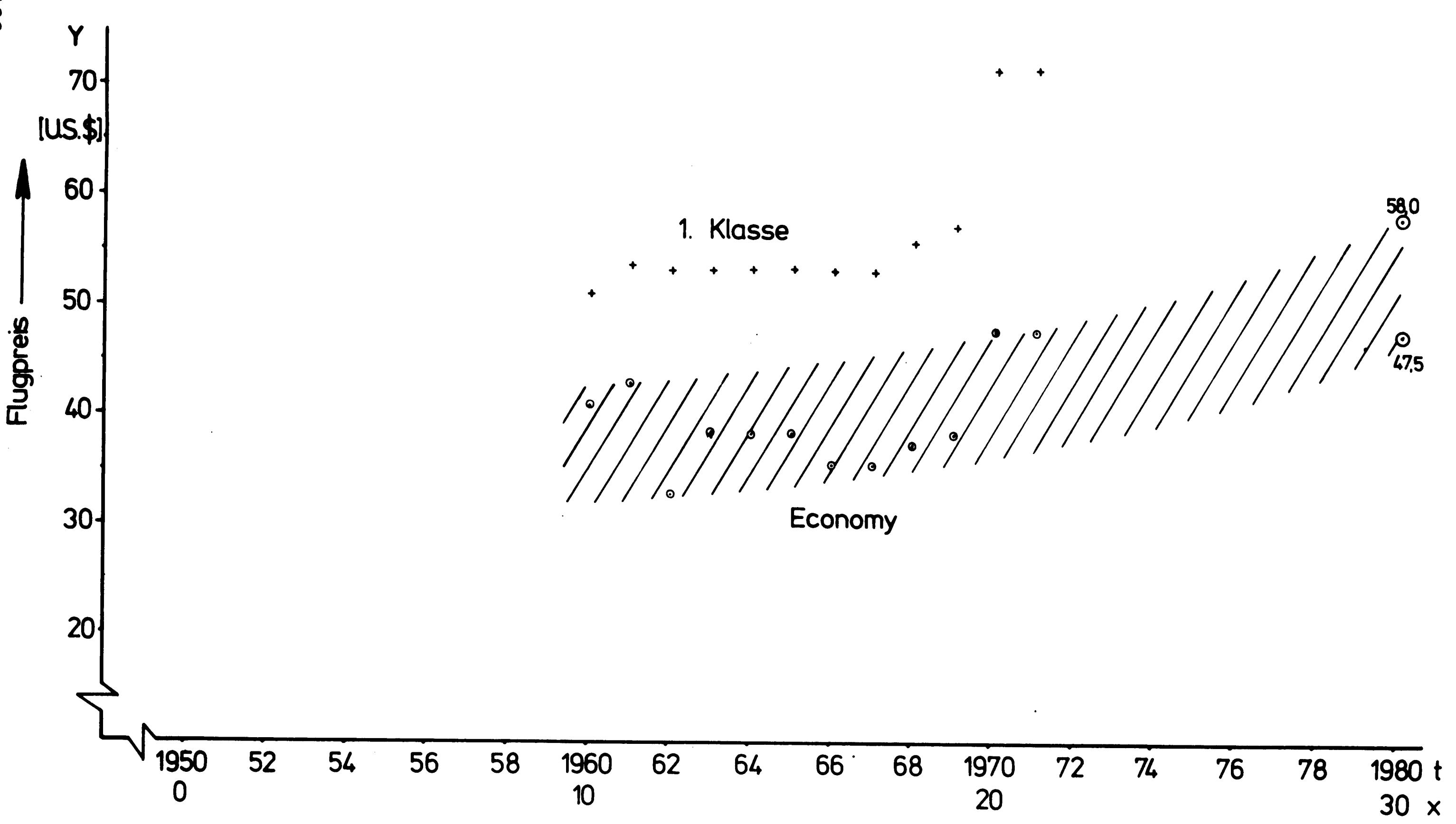
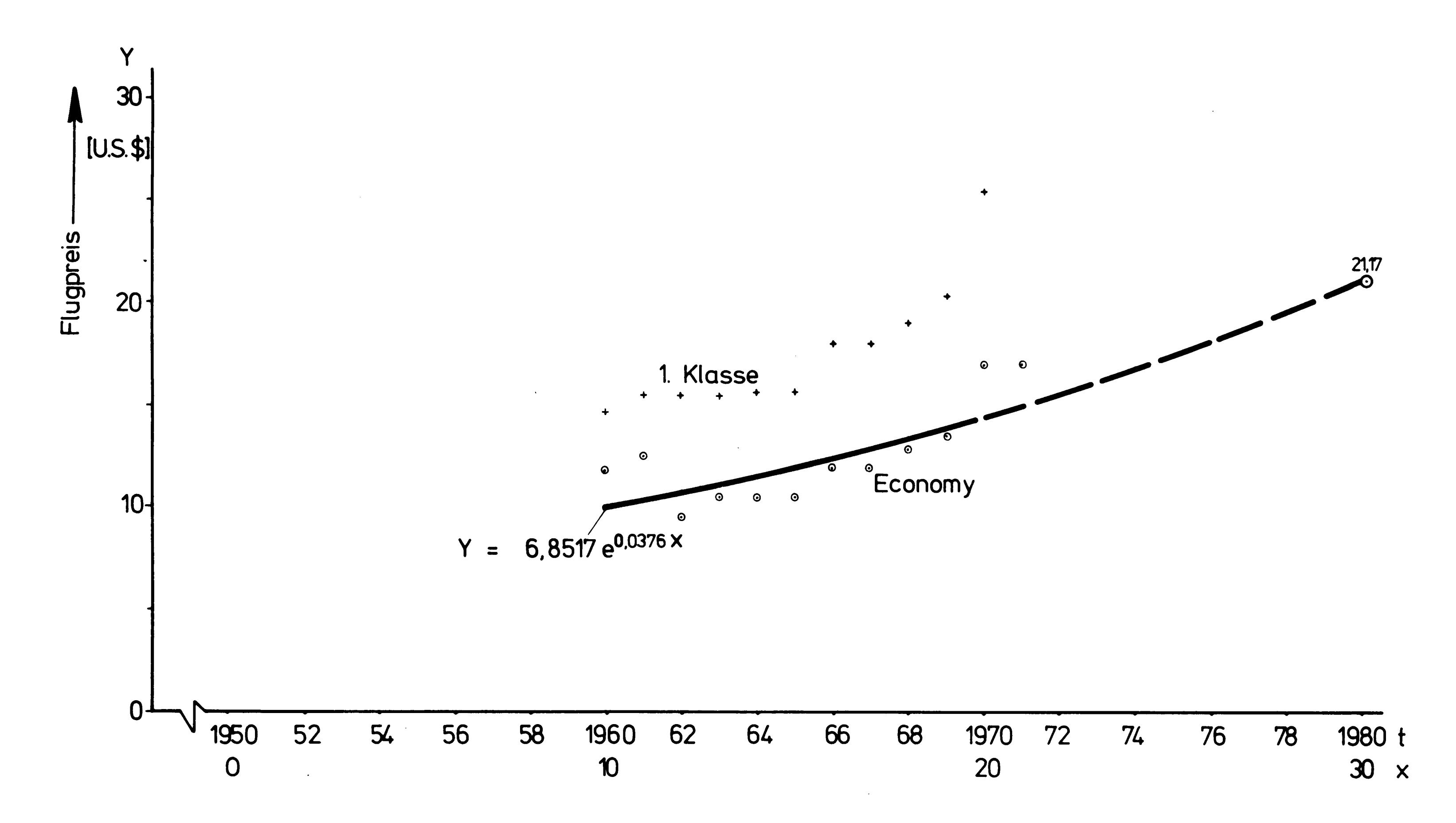
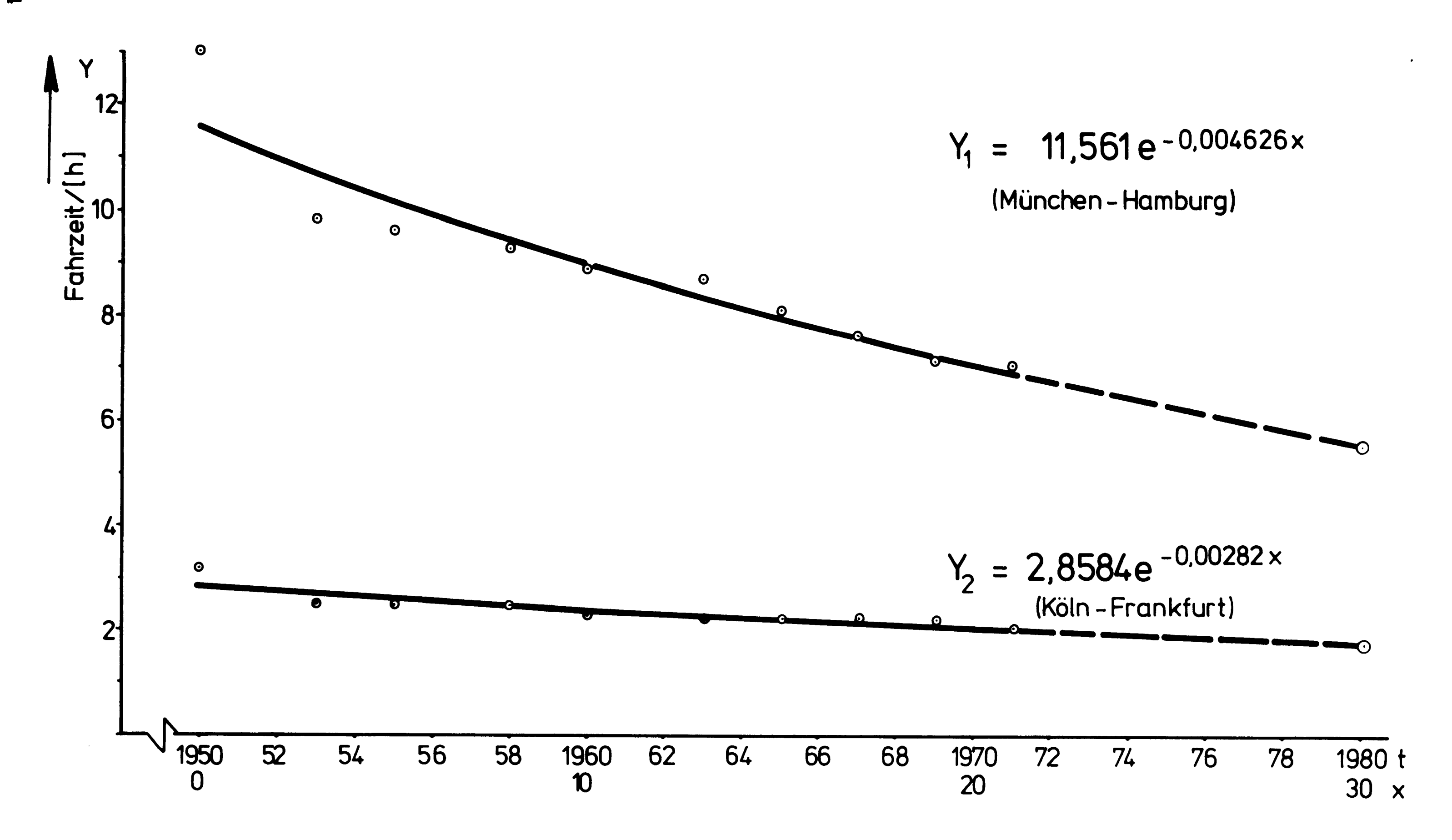


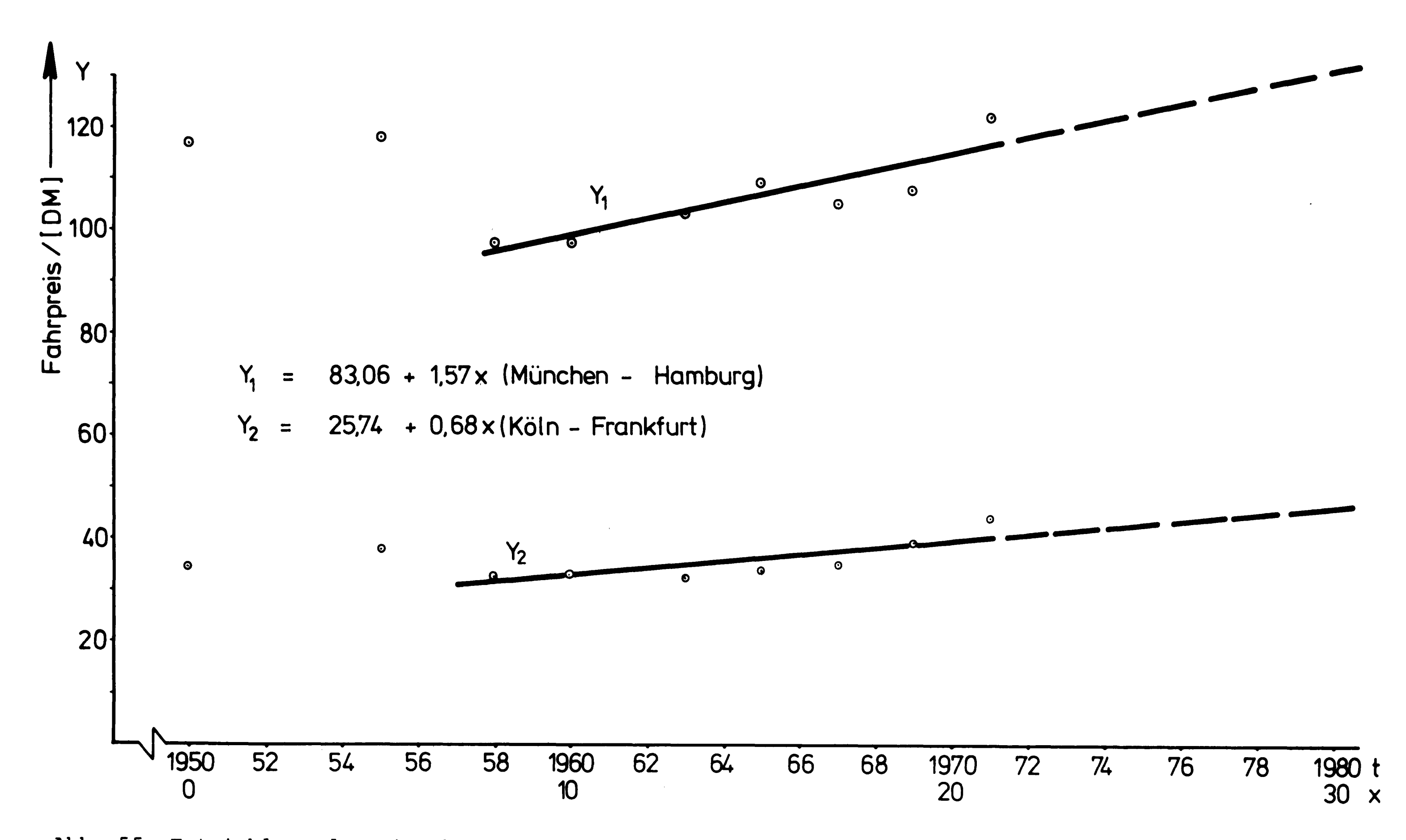
Abb. 52: Entwicklung der Flugtarife im planmäßigen Luftverkehr auf der Strecke München-Hamburg



<u>Abb. 53:</u> Entwicklung der Flugtarife im planmäßigen Luftverkehr auf der Strecke Köln-Frankfurt



$Y_1 = 11,561 e^{-0,004626x}$
(München-Hamburg)
$Y_2 = 2,8584 e^{-0,00282x}$
(Köln-Frankfurt)
Y
Fahrzeit/[h]
12
10
8
6
4
2
1950
52
54
56
58
1960
62
64
66
68
1970
72
74
76
78
1980
t
0
10
20
30
x



<u>Abb. 55:</u> Entwicklung der Eisenbahn-Tarife (1. Klasse) auf den Strecken München-Hamburg und Köln-Frankfurt

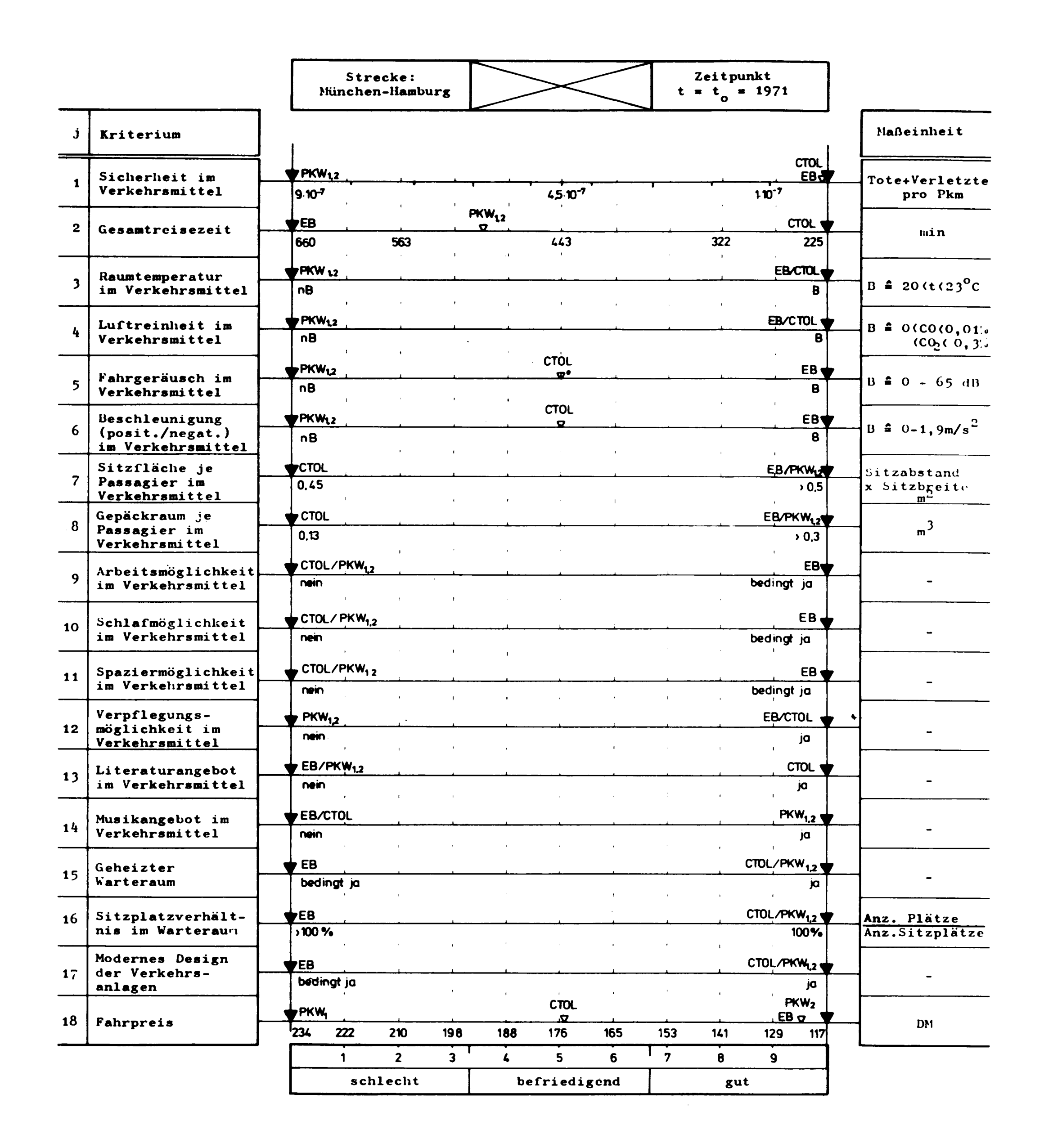


Abb. 56: Skalierung der Zielerträge der Attraktivitätskriterien für die Strecke München-Hamburg (Ist-Zeitpunkt)

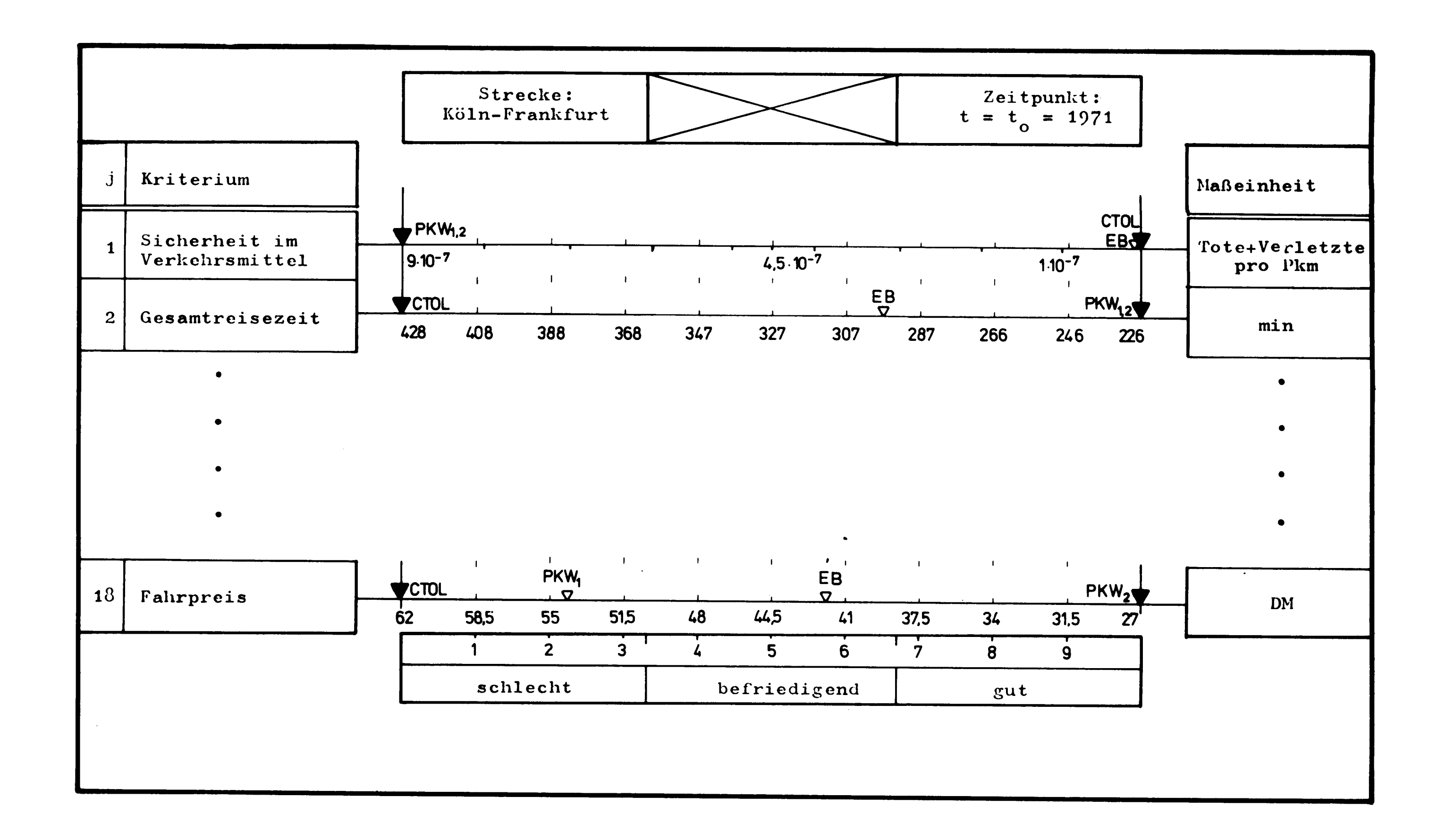


Abb. 57: Skalierung der Zielerträge der Attraktivitätskriterien für die Strecke Köln-Frankfurt (Ist-Zeitpunkt)

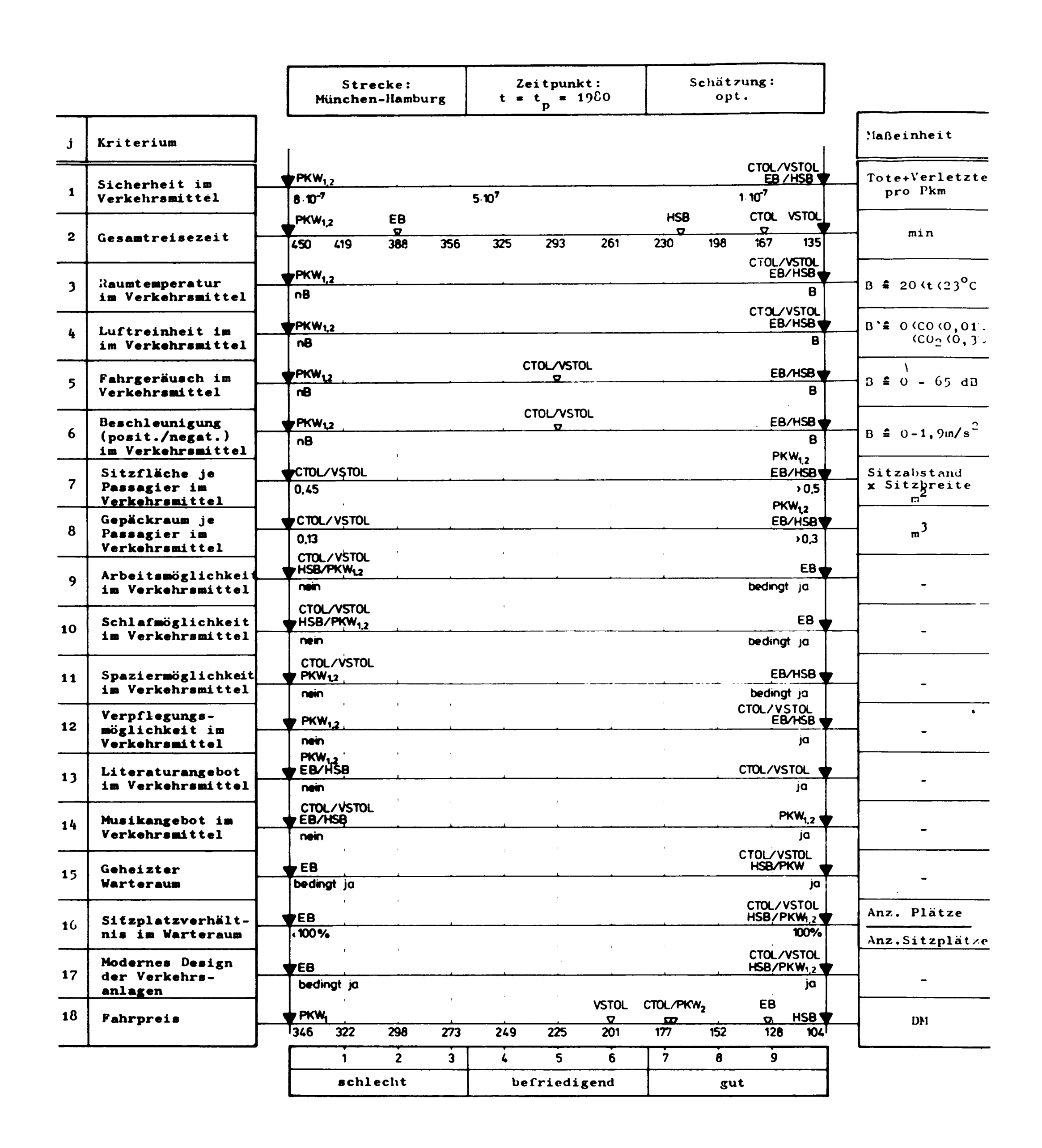


Abb. 58: Skalierung der Zielerträge der Attraktivitätskriterien für die Strecke München-Hamburg (Prognosezeitpunkt, optimistische Schätzung)

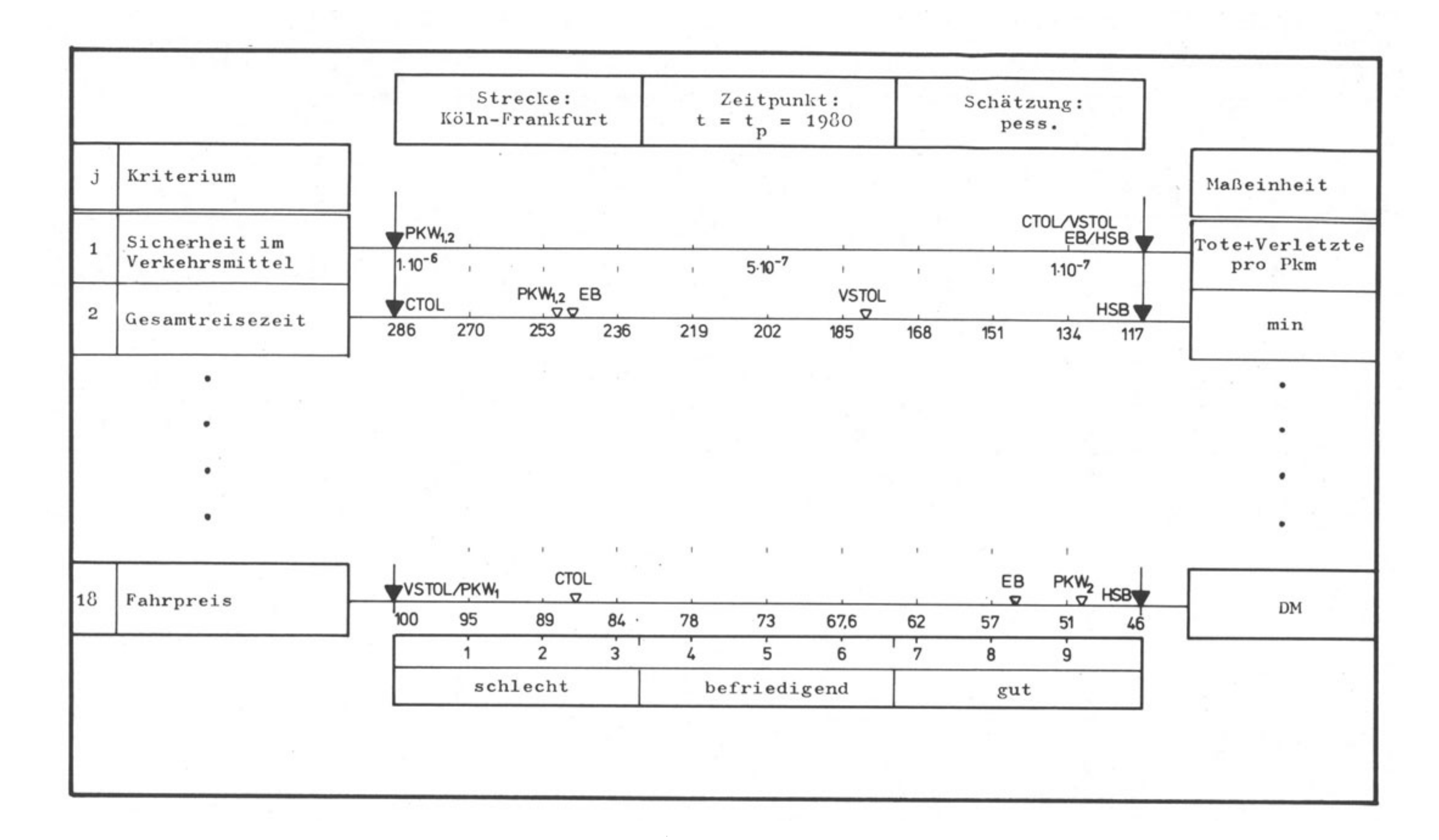


Abb. 59: Skalierung der Zielerträge der Attraktivitätskriterien für die Strecke München-Hamburg (Prognosezeitpunkt, Mittelwert der Schätzung)

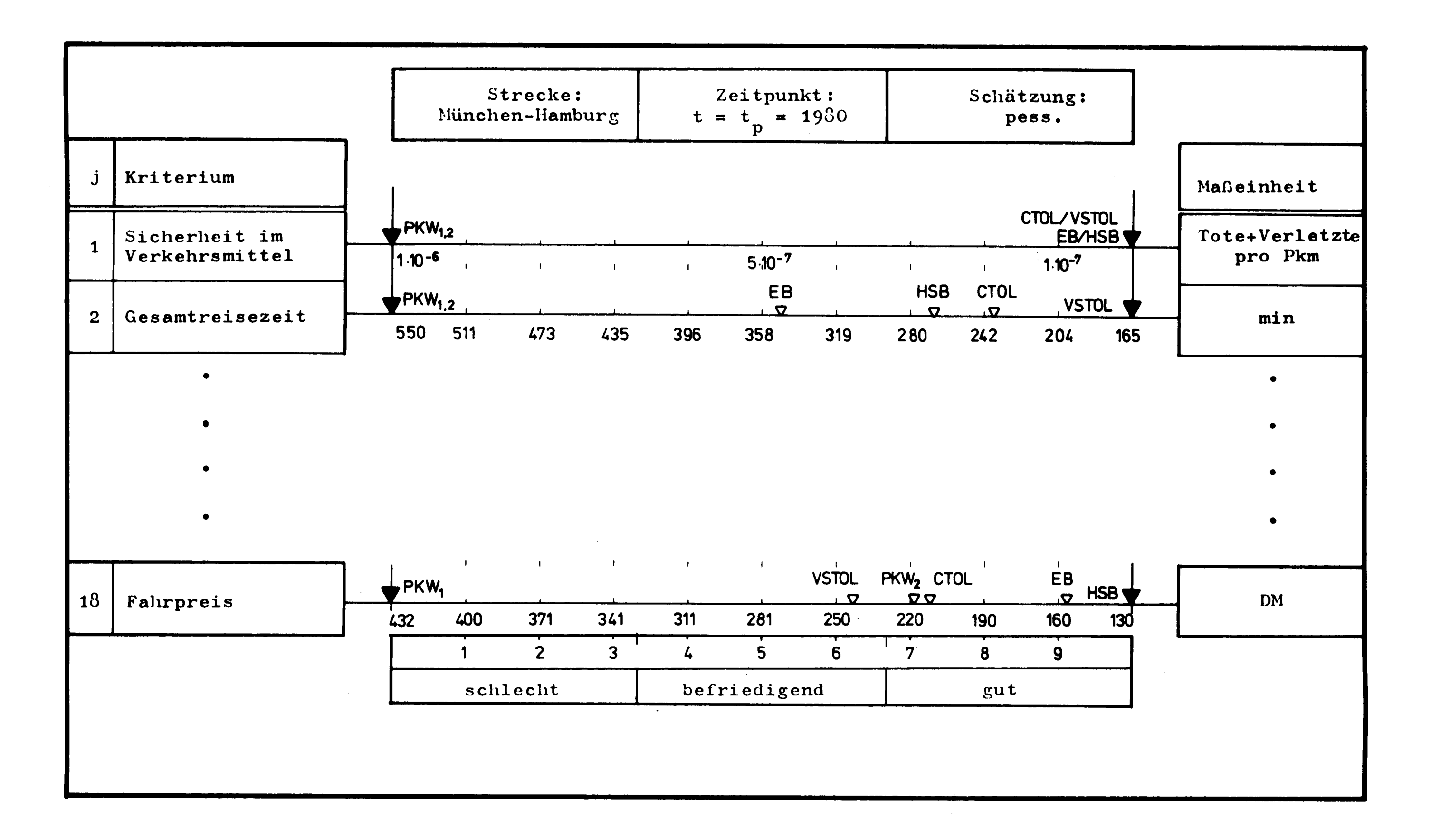


Abb. 60: Skalierung der Zielerträge der Attraktivitätskriterien für die Strecke München-Hamburg (Prognosezeitpunkt, pessimistische Schätzung)

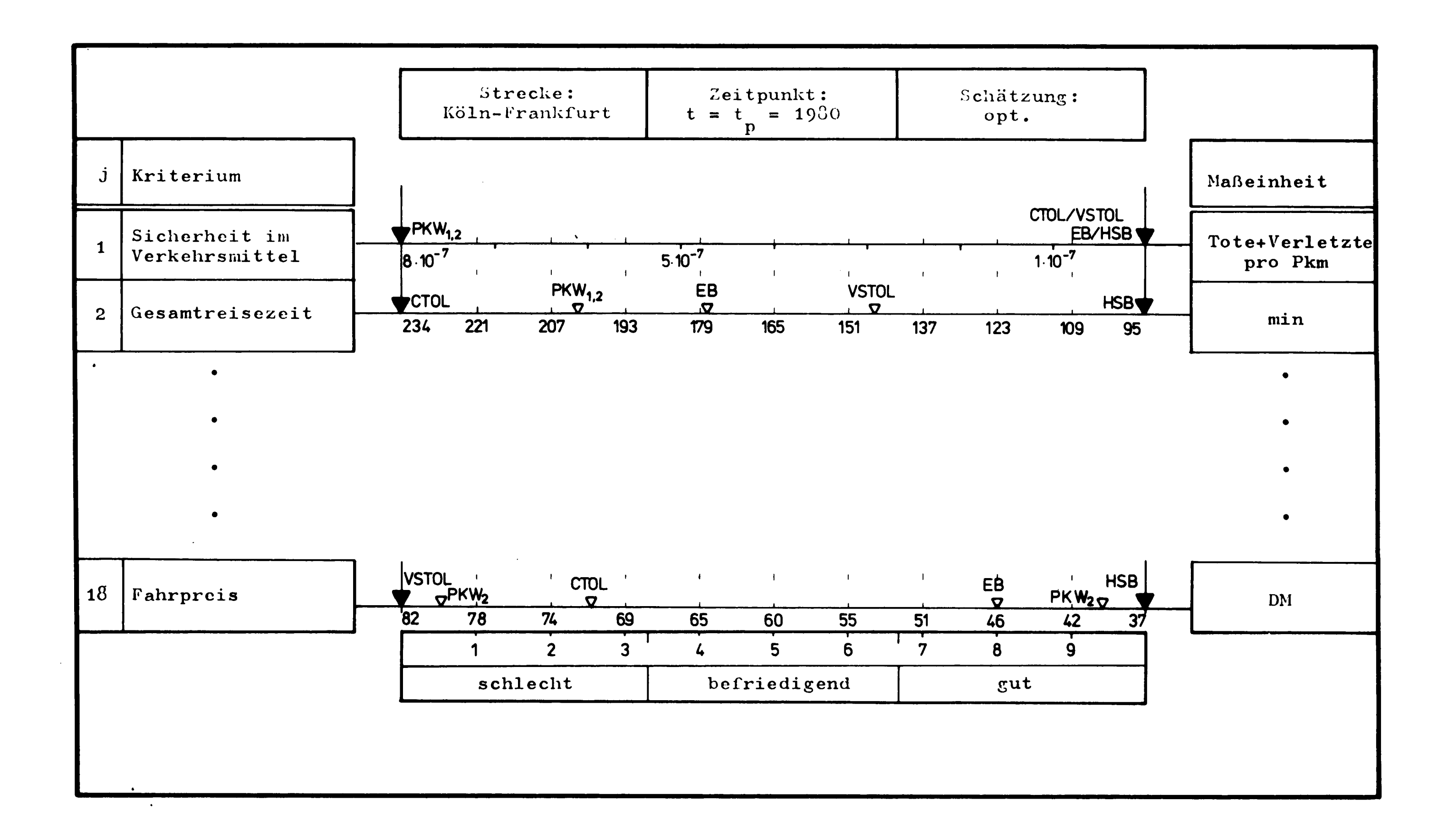


Abb. 61: Skalierung der Zielerträge der Attraktivitätskriterien für die Strecke Köln-Frankfurt (Prognosezeitpunkt, optimistische Schätzung)

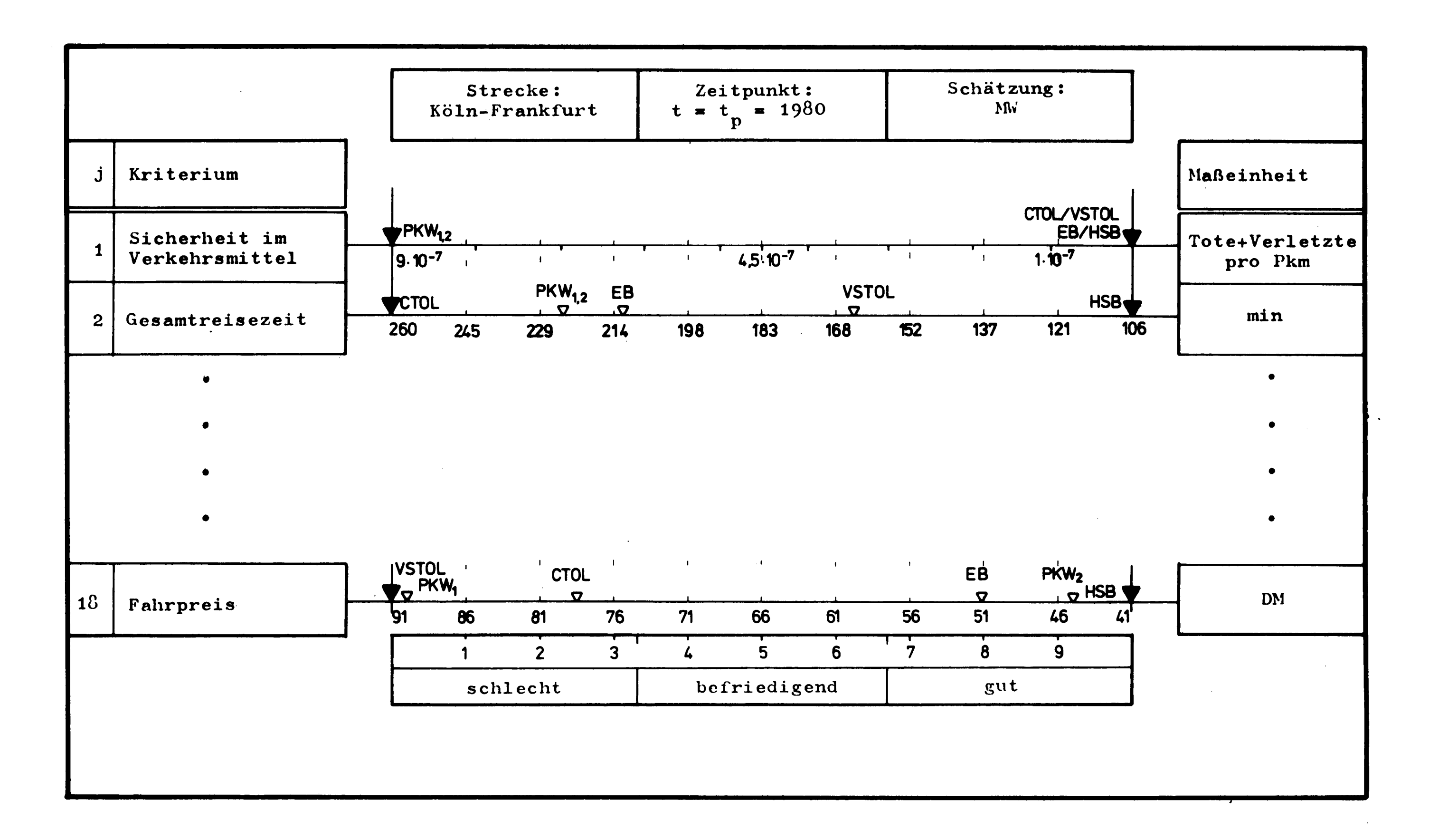


Abb. 62: Skalierung der Zielerträge der Attraktivitätskriterien für die Strecke Köln-Frankfurt (Prognosezeitpunkt, Mittelwert der Schätzung)

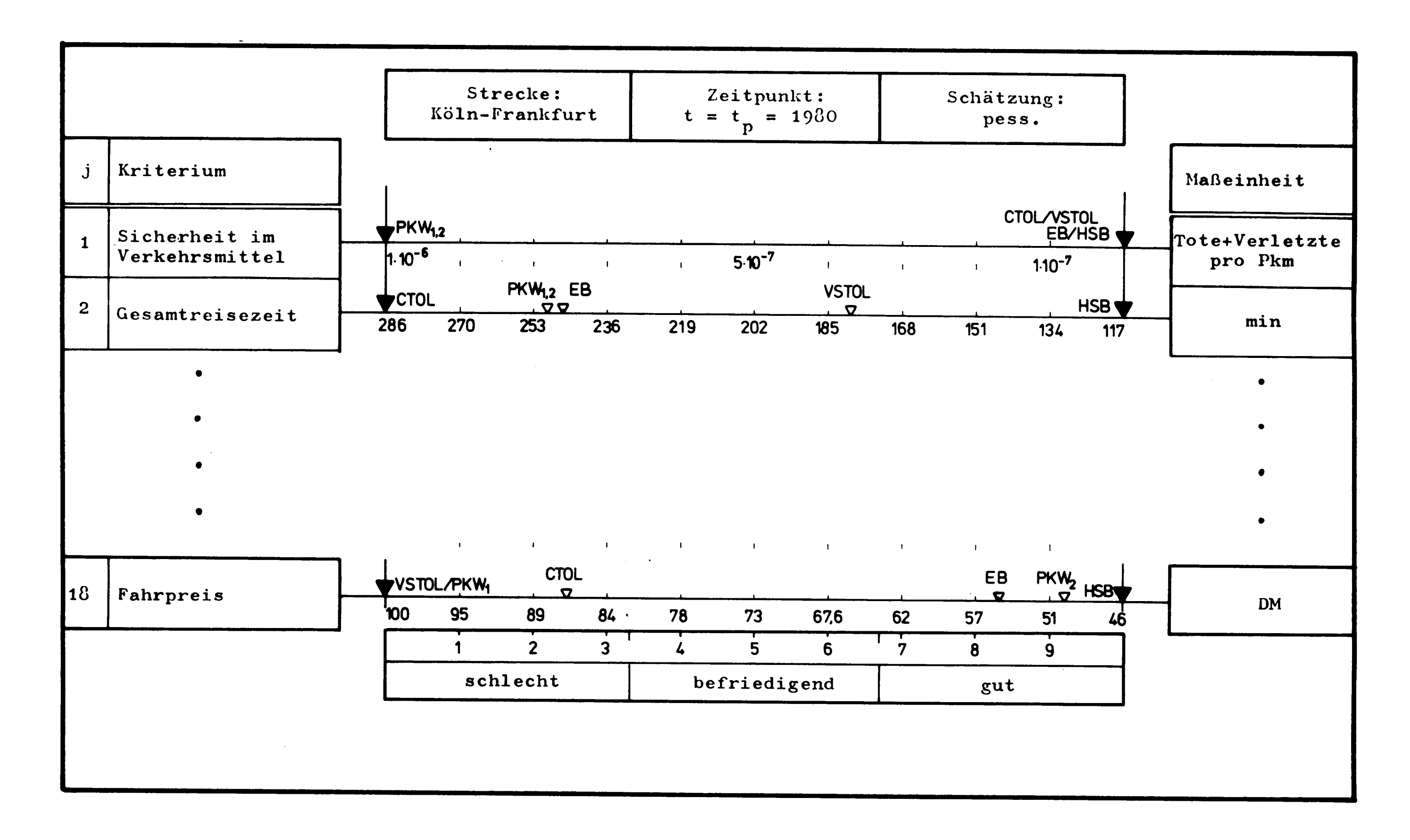


Abb. 63: Skalierung der Zielerträge der Attraktivitätskriterien für die Strecke Köln-Frankfurt (Prognosezeitpunkt, pessimistische Schätzung)

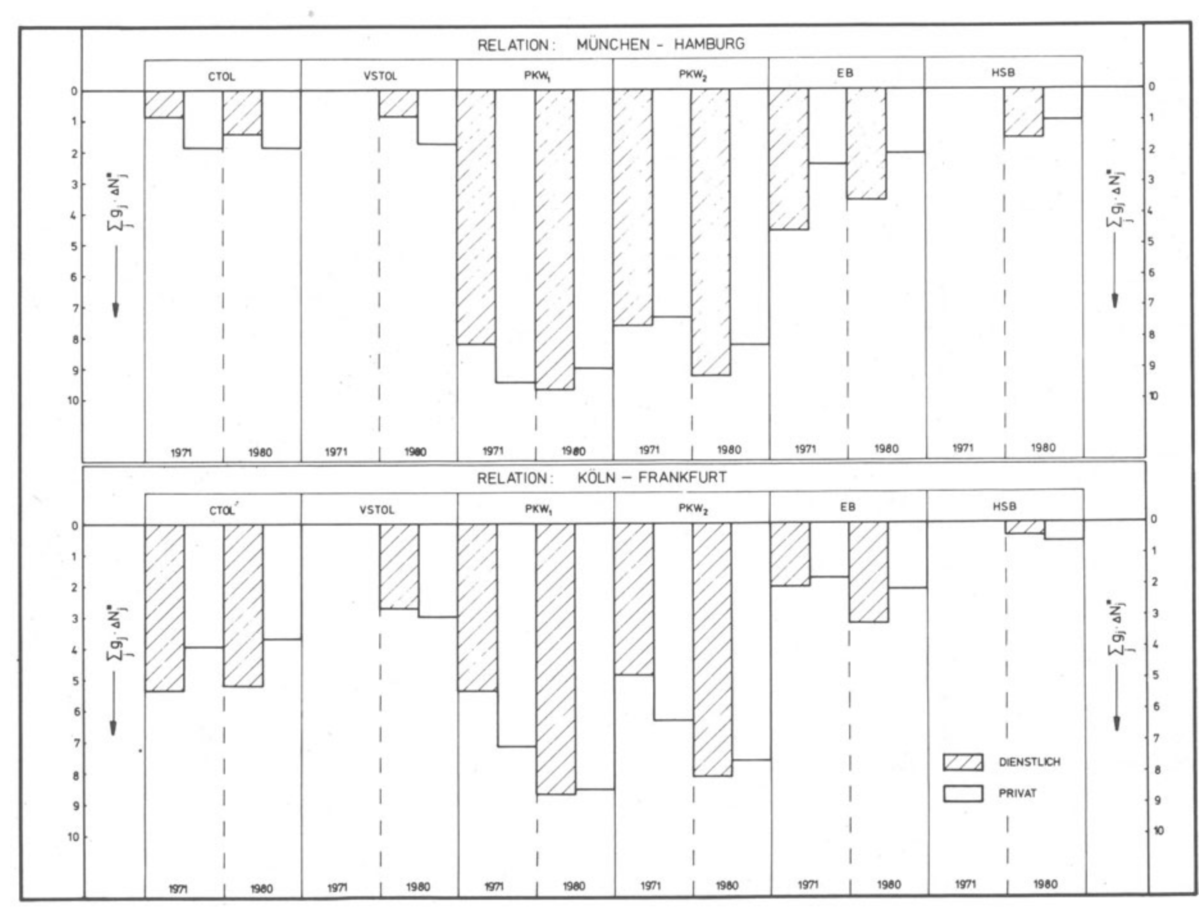


Abb. 64: Verschiebung der Transportattraktivität zum Prognosezeitpunkt im Vergleich zur Situation zum Ist-Zeitpunkt

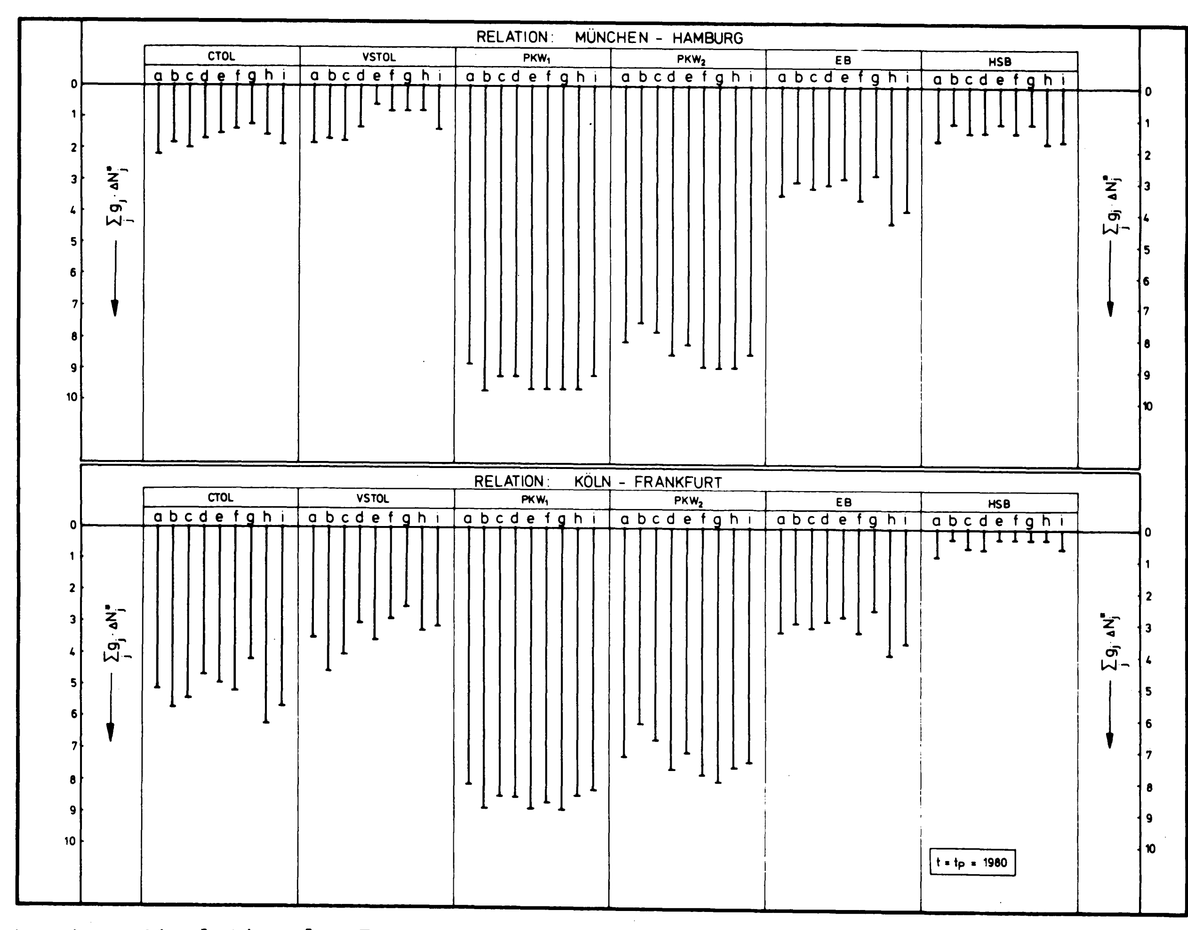


Abb. 65: Ergebnis einer Simulation der Transportattraktivität unter Zugrundelegung verschiedener Kombinationen der Gewichtungsfaktoren

b) Tafeln

Tafel 1a: Zielprogramm zur Ermittlung des attraktivsten Verkehrsmittels

Stufe s	Lfd. Index j	Attraktivitätseigenschaften E(s,j)	Knotenpunktgewicht Gk(s,j) z = konst.	% $\sum$
1	1	Transportattraktivität	100	
				100
2	1	Sicherheit der Beförderung	Gk (2,1)	
	2	Schnelligkeit der Beförderung	.	
	3	Bequemlichkeit der Beförderung	.	
	4	Billigkeit der Beförderung	Gk (2,4)	
				100
3	1	Sicherheit des Verkehrsmittels	Gk (3,1)	
	2	Sicherheit der Verkehrsanlagen	Gk (3,2)	
				100
	3	Fahrplangünstigkeit	Gk (3,3)	
	4	Zubringerzeit	.	
	5	Abfertigungs- und Nebenzeit	.	
	6	Blockzeit	.	
	7	Pünktlichkeit	Gk (3,7)	
				100
	8	Bequemlichkeit des Verkehrsmittels	Gk (3,8)	
	9	Bequemlichkeit der Verkehrsanlagen	Gk (3,9)	
				100
	10	Beförderungspreis	Gk (3,10)	
				100
4	1	Sicherheit des Verkehrsmittels	Gk (4,1)	100
	2	Sicherheit der Verkehrsanlagen	Gk (4,2)	100
	3	Zeitwertfaktor (nach Scharlach)	Gk (4,3)	
	4	Mittlere Wartezeit	Gk (4,4)	
				100
	5	Zubringerzeit	Gk (4,5)	
				100
	6	Abfertigungs- und Nebenzeit	Gk (4,6)	
				100
	7	Beschleunigungsvermögen (positiv und negativ)	Gk (4,7)	
	8	Dauergeschwindigkeit	.	
	9	Kapazität der Verkehrsanlagen	Gk (4,9)	
				100
	10	Pünktlichkeit	Gk (4,10)	
				100

Tafel 1b: Zielprogramm zur Ermittlung des attraktivsten Verkehrsmittels

Fortsetzung Zielprogramm:

Stufe s	Lfd. Index j	Attraktivitätseigenschaften E(s,j)	Knotenpunktgewicht Gk(s,j) z = konst.	% Σ
4	11	Innenraumklima	Gk (4,11)	
	12	Fahrgeräusch	.	
	13	Beschleunigung	.	
	14	Vibration/Erschütterung	.	
	15	Sichtverhältnisse	.	
	16	Sitzplatz	.	
	17	Bewegungsfläche	.	
	18	Gepäckraum	.	
	19	Abwechslungsmöglichkeit	.	
	20	Ausstattungsniveau (Verkehrsmittel)	.	
	21	Service (Verkehrsmittel)	Gk (4,21)	
				100
	22	Übersichtlichkeit	Gk (4,22)	
	23	Ausstattung (Verkehrsanlagen)	.	
	24	Service (Verkehrsanlagen)	Gk (4,24)	
				100
	25	Beförderungspreis	Gk (4,25)	
				100

Zeichenerklärung: E(s,j) = Attraktivitätseigenschaft
Gk(s,j) = Knotenpunktgewicht der Attraktivitätseigenschaft E(s,j)
s=1(1),4 = Index der Hierarchiestufe
j=1(1),n = Index der Attraktivitätseigenschaft
z = Index des Reisezwecks

Tafel 2: Einflußgrößen auf die Reisezeit Haus-Haus

Einflußgrößen E_i	den Einflußgrößen E_i zugeordneter Zeiten Δt_i	Bemerkung
E_1	relativer Zeitverlust infolge zeitlich ungünstiger Fahrgelegenheit	Differenz zwischen dem Produkt aus dem Zeitwertfaktor (nach[19]) sowie der Gesamtreisezeit und der Gesamtreisezeit
E_2	frequenzbedingte mittlere Wartezeit	halber mittlerer zeitlicher Abstand zweier Verkehrsgelegenheiten (lt. Fahrplan)
E_3	Zubringerzeit (Quelle)	Summe von Fahrzeit, Umsteigezeit und Wartezeit
E_4	Summe von Abfertigungszeit und Nebenzeit (Quelle)	Summe von Abfertigungszeit, Pufferzeit und Zusteigezeit
E_5	Fahrzeit Quelle - Ziel	Quotient aus den Blockzeiten lt. Fahr- oder Flugplan bzw. mittlere Fahrgeschwindigkeit und der Streckenlänge Quelle - Ziel
E_6	Summe von Abfertigungszeit und Nebenzeit (Ziel)	Summe von Aussteigezeit und Abfertigungszeit
E_7	Zubringerzeit (Ziel)	Summe von Fahrzeit, Umsteigezeit und Wartezeit
E_8	Verlustzeit infolge Unpünktlichkeit	Quotient aus der Summe aller Verspätungen und der Anzahl der Fahrten je Zeiteinheit
E_9	Möglicher Zeitgewinn im Verkehrsmittel	Summe aller möglichen Zeitersparnisse infolge Ess-, Schlaf- u. Arbeitsgelegenheit im Verkehrsmittel

$$\left(\sum_{i=1}^{8} \Delta t_i\right) - \Delta t_9 = \text{gesamte (gewichtete) Reisezeit Haus - Haus}$$

Tafel 3: Physiologische Behaglichkeitszone

Lfd. Nr.	Einflußgröße F_i	Behaglichkeitszone		Gefährdungsgrenze	
1	Raumtemperatur a) Winter b) Sommer	*) 20 - 21 22 - 23	 °C °C		
2	Relative Luftfeuchtigkeit φ	30 - 70	%		
3	CO-Gehalt	0 - 0,01	%	0,03	%
4	CO_2-Gehalt	0 - 3	%	10	%
5	Luftzug	10 - 20	m/s		
6	Frischluftzufuhr a) Rauchverbot b) Raucherlaubnis	**) 30 40	 m^3/Person · h m^3/Person · h	15	m^3/Person · h
7	Fahrgeräusch	0 - 65	dB	120	dB (bei 1000 H_z
8	Vibration/Erschütterung ***)	0 - 40	pal	80	pal
9	Beschleunigung a) stehend b) sitzend	 0 - 1,3 0 - 1,9	 m/s^2 m/s^2	4,5	m/s^2

Bemerkungen:
*) nach Schulte : (Werte gelten für $30 \leq \varphi \leq 70\%$), **) nach Grandjean
***) nach Zeller : $P = 10 \log (v/0{,}0316)^2$ [pal] (v = Schwingungsschnelle [m/s])
übrige Werte nach Mc Farland

Tafel 4: Kenndaten von Verkehrsflugzeugen der sechziger Jahre

	Konstruktions-Parameter							
Passagier-Flugzeuge (Indienststellung 1960 bis 1970)	Flügelfläche (F) m^2	Max. Abfluggewicht (Gmax) t	Spannweite (b) m	Gesamtlänge (L) m	Sitzzahl	Max. install. Triebwerksschub (Smax) kp	Flächenbelastung $(\frac{Gmax}{F})$	Schubspezifische Belastung $(\frac{Gmax}{Smax})$
Boeing 747-B Langstrecken-Großraumflugzeug (1969)	511	351,54	59,64	70,51	bis 490	4 x 19730	687,9	4,45
Boeing 707-320-B Langstreckenflugzeug (1962)	279,64	151,315	44,24	46,61	bis 202	4 x 8165	541,106	4,633
Mc-Donnel-Douglas DC8-S-6 Langstreckenflugzeug (1967)	267,9	147,415	43,41	57,12	bis 259	4 x 8172	550,26	4,51
Boeing 727-30 Mittelstreckenflugzeug (1964)	157,9	68,950	32,92	41,69	bis 131	3 x 6350	437,0	3,62
Boeing 737-130 Mittel- u. Kurzstreckenflugzeug (1967)	91,04	47,170	28,35	28,65	bis 115	2 x 6350	518,5	3,72

Tafel 5: Kenndaten von Verkehrsflugzeugen der siebziger Jahre

	Konstruktions-Parameter							
Passagier-Flugzeuge (Indienststellung 1971 bis 1980)	Flügelfläche (F) m^2	Max. Abfluggewicht (Gmax) t	Spannweite (b) m	Gesamtlänge (L) m	Sitzzahl	Max. install. Triebwerksschub (Smax) kp	Flächenbelastung $(\frac{Gmax}{F})$	Schubspezifische Belastung $(\frac{Gmax}{Smax})$
BAC-Sud Aviation Concorde Langstrecken-SST-Flugzeug (1975)	358,25	175,00	25,60	58,84	bis 144	4 x 17300	488,49	2,53
McDonnel-Douglas DC10-S30 Langstrecken-Großraumflugz. (1974)	329,8	240,40	47,35	54,86	bis 345	3 x 22225	728,93	3,605
Lockheed Tristar L1011 Langstrecken-Großraumflugzeug	348,85	185,552	47,34	54,16	bis 345	3 x 17473	531,9	3,54
Airbus A300B1 Kurz-u. Mittelstrecken-Großraumflugzeug (1974)	260,4	132,00	44,82	50,31	bis 295	2 x 22225	506,9	2,97
VFW-Fokker VFW 614 Kurzstreckenflugzeug (1973)	64,00	17,25	21,50	20,57	bis 44	2 x 3500	269,53	2,464

Tafel 6: Rahmenanforderungen für ein deutsches V/STOL-Projekt

Kriterium	militärisch	zivil
Allgemeines	Indienststellung 1977/78. Ausschließliche Verwendung von bereits verfügbaren bzw. in Entwicklung befindlichen Triebwerken (Verfügbarkeitstermin der Prototypen: 1975). Hauptbewertungskriterien: Betriebskosten, Schallpegel, Ausfallsicherheit, FAA-Zulassung.	
Verwendungszweck	taktischer Transport von Personen und Material	Kurzstrecken- und Zubringerverkehr über 600 bis 800 km (insbesondere Geschäftsverkehr).
Nutzlast	80 bis 100 Soldaten à 100 kp oder 10 Mp Nutzlast	80 bis 100 Passagiere à 75 kp zusätzlich 0,17 m^3 Fracht zu 160 kp/m^3 je Passagier
STOL-Kapazität	Zur Reichweitenvergrößerung gewünscht (50 % der Einsätze als STOL-Einsatz geplant).	nicht gefordert
Dienstgipfelhöhe	Druckrumpf bis 30 000 ft.	bei Ausfall eines beliebigen Triebwerks, 90% VTO-Startgewicht u. ISA + 10°C größer als 4500 m
Reichweite (VTOL)	800 km oder 2 x 315 km jeweils ohne Nachtanken, halbe Strecke im Tiefflug	800 km oder 2 x 315 km ohne Nachtanken
Geschwindigkeit	550 bis 560 km/h in Bodennähe	$V_{Mo} \geq$ 740 km/h (TAS)
Lärm	Kabinenlärm geringer als 70 Phon	Maximaler Startlärm 95 PNdB in 500 ft. Entfernung, Kabinenlärm nicht größer als bei Boeing 727
Wirtschaftlichkeit	keine Angabe	Direkte Sitzkilometerkosten über 370 km ≤ 150 % des Wertes der Boeing 737-130

Tafel 7: Schematischer Aufbau der Zielertragsmatrix

				Zielkriterium (Attraktivitäts-Eigenschaften)				
				Sicherheit	Schnelligkeit	Bequemlichkeit	Billigkeit	
				E_1		E_j		E_n
Verkehrsmittel-Alternativen	Preis-Qualitätsgruppe M_{iI}	CTOL-Flugzeug	M_{1I}					
		V/STOL Flugzeug	M_{2I}					
		PKW_I 1 Pers.	M_{3I}					
		PKW_I 2 Pers.	M_{4I}					
		TEE, FD E.-Bahn I. Kl.	M_{5I}					
		HSB o.ä. Projekt	M_{6I}					
	Preis-Qualitätsgruppe M_{iII}	PKW_{II} 1 Pers.	M_{1II}					
		PKW_{II} 2 Pers.	M_{2II}					
		Bus	M_{3II}					
		E-Bahn II.Kl.	M_{4II}					
		HSB o.ä. Projekt	M_{5II}					

Tafel 8: Unfallursachen und Betriebszustände bei Unfalleintritt im Linienluftverkehr

Unfallursachen im Linienluftverkehr	%-Anteil
Menschliches Versagen	54
Technisches Versagen	15
Natureinflüsse	21
Sonstiges	10

Betriebszustand bei Unfalleintritt	%-Anteil
Start	18
Steigen	15
Reiseflug	10
Landung	57

Tafel 9: Entscheidungshöhe und Landebahnsichtweite als Funktion der Landekategorie

Landekategorie	Entscheidungshöhe (ft.)	Landebahnsichtweite (m)
CAT I	200	800
CAT II	100	400
CAT III_A	0	200
CAT III_B	0	50

Tafel 10: Entwicklung der Sicherheit im Linienluftverkehr (Trendextrapolation)

Thema:
Sicherheit im Linien-Luftverkehr

Quelle der Daten:
IATA World Air Transport Statistics Nr. 14/1969

Statistisch ermittelte Daten: Tote + Verletzte/10^8 Pkm

Zeitpkt.	1950	51	52	53	54	55	56	57	58
Betrag	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zeitpkt.	59	1960	61	62	63	64	65	66	67
Betrag	-	0,87	0,94	0,68	0,57	0,31	0,47	0,29	0,20
Zeitpkt.	68	69	1970	71	72	73	74	75	76
Betrag	0,27	-	-	-	-	-	-	-	-
Zeitpkt.	77	78	79	1980	81	82	83	84	85
Betrag	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Berechnete Werte:

Zeitpkt.	1950	51	52	53	54	55	56	57	58
Betrag	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zeitpkt.	59	x=0 1960	61	62	63	64	65	66	67
Betrag	-	0,946	0,785	0,651	0,540	0,448	0,371	0,308	0,255
Zeitpkt.	68	69	1970	71	72	73	74	75	76
Betrag	0,212	0,176	0,146	0,121	0,100	0,083	0,069	0,057	0,047
Zeitpkt.	77	78	79	1980	81	82	83	84	85
Betrag	0,039	0,033	0,027	0,023					0,0088

Näherungsfunktion: $y = a \cdot e^{bx}$

$$y = 0{,}946 \cdot e^{-0{,}187023\, x}$$

Substitution: $y^* = a^* + b^* \cdot x^*$

$$y^* = \lg y,\; x^* = x,\; a^* = \lg a,\; b^* = b \cdot \lg e$$

Bestimmtheitsmaß:
B = 0,854441

Korrelationskoeffizient:
r = -0,924359

Bemerkungen:

Tafel 11: Entwicklung der Flugzeugblockzeit auf der Strecke Frankfurt-New York (Trendextrapolation)

Thema:

Flugblockzeit Frankfurt (FRA) - New York (NYC)

Quelle der Daten:

ABC-World Airways'Guide

Statistisch ermittelte Daten: (h)

Zeitpkt.	1950	51	52	53	54	55	56	57	58
Betrag	-	-	-	20,08	-	18,92	17,33	16,0	17,33
Zeitpkt.	59	1960	61	62	63	64	65	66	67
Betrag	15,5	8,667	8,25	8,50	8,50	8,50	8,33	8,50	8,50
Zeitpkt.	68	69	1970	71	72	73	74	75	76
Betrag	8,50	8,50	8,33	8,33	-	-	-	-	-
Zeitpkt.	77	78	79	1980	81	82	83	84	85
Betrag	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Berechnete Werte: (h)

Zeitpkt.	1950	51	52	53	54	55	56	57	58
Betrag	-	-	-	-	-	21,80	18,16	15,57	13,62
Zeitpkt.	59	1960	61	62	63	64	65	66	67
Betrag	12,11	10,90	9,91	9,08	8,38	7,78	7,27	6,81	6,41
Zeitpkt.	68	69	1970	71	72	73	74	75	76
Betrag	6,05	5,73	5,45	5,19	4,95	4,73	4,54	4,36	4,19
Zeitpkt.	77	78	79	1980	81	82	83	84	85
Betrag	4,04	3,89	3,75	3,633	-	-	-	-	-

Näherungsfunktion: $y = \frac{b}{x}$

$$y = \frac{108{,}9936}{x}$$

Substitution: $y^* = y,\ x^* = \frac{1}{x},\ b^* = b$

Bestimmtheitsmaß: B = 0,7408

Korrelationskoeffizient: r = 0,8607

Bemerkungen:

1950 : x=0

Tafel 12: Ausgangsdaten und Näherungsfunktionen zur Prognose der Reisegeschwindigkeit von Langstrecken-Verkehrsflugzeugen

	Flugzeugtyp / Einflußgrößen	Ju 52	DC-3	DC-6	Comet I	B 707 - 120	Concorde	B 2707 - 300 **)	Trendfunktion	Regressionsfunktion
1	Startgewicht G_{max} (t)	10,5	10,886	44,13	45,54	112,50	175,0	340,0	-	-
2	Reiseflug-gewicht G_R (= 0,9 G_{max})	9,45	9,797	39,717	40,986	101,25	157,0	306,0	$G_R = -14{,}997 + 3{,}739 \cdot t$	-
3	Passagierzahl	15	21	58	36	130	144	234	-	-
4	Startleistung N_{max} (PS) *) Startschub S_{max} (t)	1.584 *)	1.600 *)	7.680 *)	9,160	17,300	63,580	121,600	-	-
5	Reiseschub S_R (= 0,22 S_{max})	-	-	-	2,015	3,806	14,010	26,750	-	-
6	Flughöhe H (ft)	18.000	18.000	20.400	40.000	25.000	60.000	70.000	-	-
7	Luftdichte in Flughöhe ϱ (kg/m³)	0,0710	0,0710	0,064	0,031	0,055	0,0118	0,00925	-	-
8	Dichteverhältnis (ϱ/ϱ_0)	0,5967	0,5967	0,4804	0,2446	0,440	0,094)	0,0741	-	-
9	Reisefluggeschwindigkeit V_R (km/h)	210	272	500	790	920	2330	2870	$V_R = 189{,}22 \cdot e^{0{,}058 \cdot t}$	$V_R = 149{,}4 + 1388{,}6 \cdot G_R/F + 0{,}1736 \cdot N_R$ -
10	Staudruck in Flughöhe q (kp/m²)	110,5	195,5	594,0	747	1790	2470	2940	-	-
11	Flügelfläche F (m²)	110,5	91,69	136,0	185,5	226,04	358,00	715,30	-	-
12	Auftriebsbeiwert $Ca,_R$ (= $G_R/q \cdot F$)	0,7805	0,5272	0,5046	0,2960	0,2494	0,1780	0,1455	$Ca,_R = 0{,}751 \cdot e^{-0{,}035 \cdot t}$	-
13	Widerstandsbeiwert $Cw,_R$ (= $S_R/q \cdot F$)	0,1177	0,0556	0,0351	0,0146	0,0094	0,0158	0,0128	$Cw,_R = 0{,}043 + \frac{0{,}336}{t}$	-
14	Triebwerksleistung (Reise) N_R ($\frac{m \cdot kp}{s}$)	79200	78000	384000	442180	972640	9067600	21325700	$N_R = 0{,}444 \cdot e^{0{,}117 \cdot t}$	-
15	Flächenbelastung (= G_R/F)	0,0855	0,1068	0,2920	0,2209	0,4479	0,4399	0,4169	$G_R/F = 0{,}0755 + 0{,}095 \cdot t$	-
16	Zeitpunkt des Erstflugs	1932	1935	1946	1949	1954	1969	-	-	-
17	Zeitpunkt der Indienststellung	1933	1936	1947	1952	1958	1974		-	-

*) bei Berücksichtigung eines Propeller-Wirkungsgrades von η = 0,8
**) wird in den Näherungsfunktionen nicht berücksichtigt

RELATION			MUC - HAM (625 km)						CGN - FRA (139 km)					
Zeitpunkt (Jahr)			1967	1969	1970	1971	1980 MW +)	1980	1967	1969	1970	1971	1980 MW	1980
Luftverkehrsart Flugzeugtyp			← CTOL → B737	B727	B737	B737		VTOL	← CTOL → B727	B737	C440	B737		VTOL
Günstigste *) Frühverbindung (Uhrzeit **))			8.55 10.15	7.00 9.10	7.00 9.10	7.00 8.15			7.55 8.35	8.00 8.40	8.00 8.40	7.55 8.35		
Lfd. Index i	Reisezeitanteil Δt_i (min.)													
1	Zubringerzeit (Quelle)	a	30	30	30	30	30	15	20	20	20	20	20	10
		b	30	90	90	90			40	40	40	40		
2	Abfertigungszeit (Quelle)	a	15	15	15	15	0	0	15	15	15	15	0	0
		b	15	45	45	45			30	30	30	30		
3	Pufferzeit (Quelle)	a	10	10	10	10	5	5	10	10	10	10	5	5
		b	10	30	30	30			20	20	20	20		
4	Zusteigezeit (Quelle)	a	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	3	1
		b	0	0	0	0			0	0	0	0		
5	Blockzeit (Quelle - Ziel)	a	80	130***)	130***)	75	75	78	40	40	40	40	32	30
		b	185	200	200	165			45	40	40	45		
6	Aussteige- und Abfertigungszeit (Ziel)	a	7	7	7	7	5	3	7	7	7	7	5	3
		b	28	14	14	7			7	7	7	7		
7	Zubringerzeit (Ziel)	a	30	30	30	30	30	15	20	20	20	20	20	10
		b	120	60	60	30			22	27	27	22		
8	Verlustzeit infolge Unpünktlichkeit	a	5	5	5	5	5	3	5	5	5	5	5	3
		b	20	10	10	10			10	10	10	10		
9	Mittlere Wartezeit (Ziel)	a	30	35	33	53	50	30	95	88	83	90	70	50
		b	120	124	124	98			274	256	236	254		
10	Möglicher Zeitgewinn im Fahrzeug (vernachlässigbar)	a												
		b												
I	Gesamtreisezeit $(\sum_{1}^{9} \Delta t_{i,a})$		207	262	260	225	203	150	212	205	200	207	160	112
II	Gewichtete Gesamtreisezeit $(\sum_{1}^{9} \Delta t_{i,b})$		528	573	573	475	406	240	448	430	410	428	260	179
III	Zeitwertfaktor $\left(\frac{\sum_{1}^{9} \Delta t_{i,b}}{\sum_{1}^{9} \Delta t_{i,a}}\right)$		2,6	2,2	2,2	2,2	2,0	1,6	2,1	2,1	2,1	2,1	1,6	1,6
IV	Mittlere jährl. Steigerungsrate von II (min.)		13,25				7,78****)		5,0				18,6****)	
			bisherige Entwicklung				Prognose		bisherige Entwicklung				Prognose	

Anmerkungen:
- *) bezüglich der gewichteten Gesamtreisezeit, a(b) = ungewichtet (gewichtet)
- **) Lt. ABC World Airways Guide bzw. Lufthansa-Flugplan
- ***) mit Zwischenlandung
- ****) für den gesamten Prognosezeitraum   +) MW = Mittelwert der Schätzung

Tafel 14: Entwicklung der Flugzeugblockzeit auf der Strecke München-Hamburg (Trendextrapolation)

Thema:
Flugblockzeit München (MUC) - Hamburg (HAM)

Quelle der Daten:
ABC-World Airways'Guide

Statistisch ermittelte Daten: (h)

Zeitpkt.	1950	51	52	53	54	55	56	57	58
Betrag	-	-	-	-	-	-	3,5	3,75	3,833
Zeitpkt.	59	1960	61	62	63	64	65	66	67
Betrag	3,417	3,0	3,0	2,917	2,917	2,917	1,333	1,333	1,167
Zeitpkt.	68	69	1970	71	72	73	74	75	76
Betrag	1,167	1,167	1,167	1,25	-	-	-	-	-
Zeitpkt.	77	78	79	1980	81	82	83	84	85
Betrag	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Berechnete Werte: (h)

Zeitpkt.	1950	51	52	53	54	55	56	57	58
Betrag	-	-	-	-	-	-	3,73	3,60	3,47
Zeitpkt.	59	1960	61	62	63	64	65	66	67
Betrag	3,35	3,23	3,11	3,00	2,90	2,79	1,286	1,265	1,244
Zeitpkt.	68	69	1970	71	72	73	74	75	76
Betrag	1,224	1,204	1,185	1,165	1,146	1,128	1,109	1,091	1,074
Zeitpkt.	77	78	79	1980	81	82	83	84	85
Betrag	1,056	1,039	1,022	1,005	-	-	-	-	0,926

Näherungsfunktion: $y = a \cdot e^{b \cdot x}$

$y_1 = 4,6316 \cdot e^{-0,036x}$ $\quad y_2 = 1,644 \cdot e^{-0,0164x}$

Substitution: $y^* = a^* + b^* \cdot x$

$y^* = \ln y,\ x^* = x,\ a^* = \ln a,\ b^* = b$

Bestimmtheitsmaß:

$B_1 = 0,7517$
$B_2 = 0,3134$

Korrelationskoeffizient:

$r_1 = -0,8670$
$r_2 = -0,5598$

Bemerkungen:

1950 : x=0

Tafel 15: Entwicklung der Flugzeugblockzeit auf der Strecke Köln-Frankfurt (Trendextrapolation)

Thema:
Flugblockzeit Köln (CGN) - Frankfurt (FRA)

Quelle der Daten:
ABC-World Airways'Guide

Statistisch ermittelte Daten: (h)

Zeitpkt.	1950	51	52	53	54	55	56	57	58
Betrag	-	-	-	-	-	-	0,917	0,917	0,917
Zeitpkt.	59	1960	61	62	63	64	65	66	67
Betrag	0,833	0,667	0,667	0,833	0,667	0,667	0,75	0,667	0,667
Zeitpkt.	68	69	1970	71	72	73	74	75	76
Betrag	0,667	0,667	0,667	0,667	-	-	-	-	-
Zeitpkt.	77	78	79	1980	81	82	83	84	85
Betrag	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Berechnete Werte: (h)

Zeitpkt.	1950	51	52	53	54	55	56	57	58
Betrag	-	-	-	-	-	-	0,944	0,884	0,84
Zeitpkt.	59	1960	61	62	63	64	65	66	67
Betrag	0,805	0,777	0,754	0,735	0,719	0,706	0,694	0,683	0,674
Zeitpkt.	68	69	1970	71	72	73	74	75	76
Betrag	0,666	0,689	0,652	0,646	0,641	0,636	0,631	0,627	0,623
Zeitpkt.	77	78	79	1980	81	82	83	84	85
Betrag	0,62	0,616	0,613	0,610	-	-	-	-	0,60

Näherungsfunktion: $y = a + \frac{b}{x}$

$y = 0,5272 + \frac{2,4974}{x}$

Substitution: $y^* = a^* + b^* \cdot x^*$

$y^* = y,\ a^* = a,\ b^* = b,\ x^* = \frac{1}{x}$

Bestimmtheitsmaß: B = 0,7181

Korrelationskoeffizient: r = 0,8474

Bemerkungen:
1950 : x=0

Tafel 16: Ausgangsdaten und Näherungsfunktionen zur Prognose der Reisegeschwindigkeit von Mittel- und Kurzstrecken-Verkehrsflugzeugen

	Flugzeugtyp / Einflußgrößen	Ju 52	DC-3	DC-6	VV800	DC-9	B 737	Trendfunktion	Modellfunktion
1	Startgewicht G_{max} (t)	10,5	10,886	44,13	28,170	35,245	47,17	-	-
2	Reiseflug-gewicht G_R (= 0,9 G_{max})	9,45	9,797	39,717	25,308	21,72	42,453	$G_R = 10{,}164 + 0{,}7735 \cdot t$	-
3	Passagierzahl	15	21	58	70	90	131	-	-
4	Startleistung•) N_{max} (PS) / Startschub S_{max} (t)	1584	1600	7680	4960	11,112	12,70	-	-
5	Reiseschub S_R (= 0,22 S_{max})	-	-	-	-	2,445	2,795	-	-
6	Flughöhe H (ft)	18.000	18.000	20.400	20.000	25.000	22.100	-	-
7	Luftdichte in Flughöhe ϱ (kg/m³)	0,071	0,071	0,064	0,0666	0,0560	0,0622	-	-
8	Dichteverhältnis (ϱ/ϱ_0)	0,5967	0,5967	0,4804	0,5326	0,4479	0,4972	-	-
9	Reisefluggeschwindigkeit V_R (km/h)	210	272	500	519	903	917	$V_R = 138{,}1 + 19{,}78 \cdot t$	$V_R = \frac{N_R(t) \cdot Ca,_R(t)}{G_R(t) \cdot Cw,_R(t)}$
10	Staudruck in Flughöhe q (kp/m²)	110,5	195,5	594	692	1761,7	2020	-	-
11	Flügelfläche F (m²)	1.0,5	91,69	136,0	89,3	86,77	91,05	-	-
12	Auftriebsbeiwert Ca,R (= G_R/q·F)	0,7805	0,5272	0,5046	0,4095	0,2075	0,2311	[illegible]$,_R = 0{,}7942 \cdot e^{-0{,}0327 \cdot t}$	-
13	Widerstandsbeiwert Cw,R (= S_R/q·F)	0,1177	0,0556	0,0351	0,0278	0,0160	0,0152	$Cw,_R = 0{,}0105 + \frac{0{,}3142}{t}$	-
14	Triebwerksleistung (Reise) N_R $(\frac{m \cdot kp}{s})$	79200	78000	384000	248000	613197	711950	$N_R = 69{,}1515 \cdot e^{0{,}0616 \cdot}$	-
15	Flächenbelastung (= G_R/F)	0,0855	0,107	0,29	0,283	0,365	0,466	-	-
16	Zeitpunkt des Erstflugs	1932	1933	1946	1958	1965	1967	-	-
17	Zeitpunkt der Indienststellung	1933	1936	1947	1958	1965	1967	-	-

•) bei Berücksichtigung eines Propeller-Wirkungsgrades von $\eta = 0{,}8$

Tafel 17: Vergleich wichtiger Kenndaten der Flughäfen von New York (JFK) und Frankfurt

Flughafen	New York (JFK)	Frankfurt
Anzahl der Startbahnen	4	2
Länge der Startbahnen	14572 ft 7964 ft 8400 ft 11350 ft	12795 ft 12139 ft
Anzahl der Flugzeug-bewegungen	431.165	166.657
Anzahl der abgefertigten Passagiere	19.573.628	7.050.459

Stand: 1969

Tafel 18: Zielerträge der Bequemlichkeitskriterien im Luftverkehr

Kriterium	Ertrag	Anmerkung
Raumtemperatur	B [1]	
Luftfeuchtigkeit	B	
Luftreinheit	B	
Luftzug	B	individuell regelbar
Frischluftzufuhr	B	individuell regelbar
Fluggeräusch	B	Ausnahme Startgeräusch $\approx$ 90dB
Vibration/Erschütterung	B	
Beschleunigung	B	Ausnahme Start bzw. Landung (2 - 3 m/s^2, Dauer < 60 s)
Sicht/Helligkeit	B	
Sitzplatzverhältnis	100 %	Anzahl Sitzplätze/ Gesamtzahl der Plätze
Bewegungsfläche (je Passagier)	0,45 m^2	Sitzabstand x Sitzbreite
Gepäckraum (je Passagier)	0,13m^3	20 kp, 160 kp/m^3 Stapeldichte
Arbeitsmöglichkeit	- [2]	Abwechslungsmöglichkeiten des Verkehrsmittels
Schlafmöglichkeit	-	
Spaziermöglichkeit	-	
Körpergerechte Polstersitze	+ [3]	Ausstattungsniveau des Verkehrsmittels
Modern. Innenraumdesign	+	
Verpflegung	+	Service im Verkehrsmittel
Literatur	+	
Musik	- [4]	
Übersichtlichk.d.Verk.-Anlagen	+	Ausstattungsniveau der Verkehrsanlagen
Geheizter Warteraum	+	
Sitzplatzverhältnis	100 %	
Modernes Design	+	
Service in den Verkehrsanlagen	+	

1) im Bereich der Behaglichkeitszone (Tafel 3)
2) nicht vorhanden 3) vorhanden 4) auf Langstrecken vorhanden

Tafel 19: Entwicklung der Flugtarife im Linienluftverkehr auf der Strecke Frankfurt-New York (Trendextrapolation)

Thema:
Flugpreis Frankfurt (FRA) - New York (NYC)

Quelle der Daten:
ABC-World Airways'Guide

Statistisch ermittelte Daten: ($)

Zeitpkt.	1950	51	52	53	54	55	56	57	58
Betrag	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zeitpkt.	59	1960	61	62	63	64	65	66	67
Betrag	-	-	-	312	312	297	297	297	297
Zeitpkt.	68	69	1970	71	72	73	74	75	76
Betrag	297	297	297	268	-	-	-	-	-
Zeitpkt.	77	78	79	1980	81	82	83	84	85
Betrag	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Berechnete Werte: ($)

Zeitpkt.	1950	51	52	53	54	55	56	57	58
Betrag	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zeitpkt.	59	1960	61	62	63	64	65	66	67
Betrag	-	-	-	310,8	307,7	304,7	301,7	298,6	295,6
Zeitpkt.	68	69	1970	71	72	73	74	75	76
Betrag	292,6	289,5	286,5	283,4	280,4	277,4	274,3	271,3	268,3
Zeitpkt.	77	78	79	1980	81	82	83	84	85
Betrag	265,2	262,2	259,2	256,1	-	-	-	-	240,9

Näherungsfunktion: $y = 347{,}200 - 3{,}036\ x$

Substitution:

Bestimmtheitsmaß:
B = 0,5892

Korrelationskoeffizient:
r = -0,767598

Bemerkungen:
1950 : x=0

Tafel 20: Entwicklung der Flugtarife im Linienluftverkehr auf der Strecke München-Hamburg (Trendextrapolation)

Thema:
Flugpreis Hamburg (HAM) - München (MUC) (Economy)

Quelle der Daten:
ABC-World Airways'Guide

Statistisch ermittelte Daten: ($)

Zeitpkt.	1950	51	52	53	54	55	56	57	58
Betrag	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zeitpkt.	59	1960	61	62	63	64	65	66	67
Betrag	-	40,90	43,00	32,80	38,30	38,40	38,40	35,50	35,50
Zeitpkt.	68	69	1970	71	72	73	74	75	76
Betrag	37,30	38,30	47,80	47,80	-	-	-	-	-
Zeitpkt.	77	78	79	1980	81	82	83	84	85
Betrag	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Berechnete Werte: ($)

Zeitpkt.	1950	51	52	53	54	55	56	57	58
Betrag	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zeitpkt.	59	1960	61	62	63	64	65	66	67
Betrag	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zeitpkt.	68	69	1970	71	72	73	74	75	76
Betrag	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zeitpkt.	77	78	79	1980	81	82	83	84	85
Betrag	-	-	-	52,75	-	-	-	-	-

Näherungsfunktion: - -

Substitution: - -

Bestimmtheitsmaß:
B = - -

Korrelationskoeffizient:
r = - -

Bemerkungen:

Tafel 21: Entwicklung der Flugtarife im Linienluftverkehr auf der Strecke Köln-Frankfurt (Trendextrapolation)

Thema:
Flugpreis Köln (CGN) - Frankfurt (FRA) (Economy)

Quelle der Daten:
ABC-World Airways'Guide

Statistisch ermittelte Daten: ($)

Zeitpkt.	1950	51	52	53	54	55	56	57	58
Betrag	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zeitpkt.	59	1960	61	62	63	64	65	66	67
Betrag	-	11,80	12,50	9,50	10,50	10,50	10,50	12,00	12,00
Zeitpkt.	68	69	1970	71	72	73	74	75	76
Betrag	12,80	13,50	17,00	17,00	-	-	-	-	-
Zeitpkt.	77	78	79	1980	81	82	83	84	85
Betrag	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Berechnete Werte: ($)

Zeitpkt.	1950	51	52	53	54	55	56	57	58
Betrag	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zeitpkt.	59	1960	61	62	63	64	65	66	67
Betrag	-	9,98	10,36	10,76	11,17	11,60	12,04	12,50	12,98
Zeitpkt.	68	69	1970	71	72	73	74	75	76
Betrag	13,48	14,00	14,53	15,09	-	-	-	-	-
Zeitpkt.	77	78	79	1980	81	82	83	84	85
Betrag	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Näherungsfunktion:

$$y = 0{,}8517 \cdot e^{0{,}0376 \cdot x}$$

Substitution:

$$y^* = a^* + b^* \cdot x$$

$$y^* = \ln y, \; x^* = x, \; a^* = \ln a, \; b^* = b$$

Bestimmtheitsmaß: B = 0,556

Korrelationskoeffizient: r = 0,852

Bemerkungen:
1950 : x=0

Tafel 22: Zielerträge für das Kriterium Sicherheit im Schienen- und Straßen-Personenverkehr

Jahr / Verkehrsmittel	Anzahl der getöteten und verletzten Reisenden pro Pkm und Jahr									
	1958	1960	1962	1964	1966	1967	1968	1969	1980 opt.*)	1980 pess.*)
Eisenbahn (Quelle: DB)	$0,89 \cdot 10^{-8}$	$0,88 \cdot 10^{-8}$	$0,57 \cdot 10^{-8}$	$0,74 \cdot 10^{-8}$	$0,39 \cdot 10^{-8}$	$0,8 \cdot 10^{-8}$	$0,66 \cdot 10^{-8}$	$1,13 \cdot 10^{-8}$	$0,2 \cdot 10^{-8}$	$0,4 \cdot 10^{-8}$
HSB o.ä. Projekt	-	-	-	-	-	-	-	-	$0,1 \cdot 10^{-9}$	$0,3 \cdot 10^{-9}$
PKW (Quellen: VDA, Stat. Bundesamt)	-	$1,23 \cdot 10^{-6}$	$1,18 \cdot 10^{-6}$	$1,31 \cdot 10^{-6}$	$1,17 \cdot 10^{-6}$	$1,12 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$0,96 \cdot 10^{-6}$	$0,8 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$

Anmerkung: *) opt. (pess.) = optimistischer (pessimistischer) Schätzwert

Tafel 23: Reisezeitanteile für den Schienen- und Straßen-Personenverkehr auf den Strecken München-Hamburg und Köln-Frankfurt

RELATION			MUC-HAM						CGN-FRA					
			820 km		1000 km		788 km		223 km		200 km		183 km	
Verkehrsmittel			E-Bahn		HSB		PKW		E-Bahn		HSB		PKW	
Zeitpunkt (Jahr)			1971	1980 MW+)	1971	1980 MW	1971	1980 MW	1971	1980 MW	1971	1980 MW	1971	1980 MW
Günstigste*) Frühverbindung (Uhrzeit**))			23.45 9.34	-	-	-	-	-	7.32 9.42	-	-	-	-	-
Lfd. Index i	Reisezeitanteil Δt_i (min.)													
1	Zubringerzeit (Quelle)	a	10	10	-	15	15	15	10	10	-	15	15	15
		b	-	-	-	-	-	-	20	-	-	-	-	-
2	Abfertigungszeit (Quelle)	a	5	3	-	2	0	0	5	3	-	2	0	0
		b	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-
3	Pufferzeit (Quelle)	a	5	3	-	2	0	0	5	3	-	2	0	0
		b	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-
4	Zusteigezeit (Quelle)	a	1	1	-	1	2	2	1	1	-	1	2	2
		b	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-
5	Blockzeit (Quelle-Ziel)	a	589	352	-	200	446	446	130	96	-	40	104	104
		b	-	-	-	-	-	-	200	-	-	-	-	-
6	Aussteige- und Abfertigungszeit (Ziel)	a	2	2	-	2	2	2	2	2	-	2	2	2
		b	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-
7	Zubringerzeit (Ziel)	a	10	10	-	15	15	15	10	10	-	15	15	15
		b	-	-	-	-	-	-	20	-	-	-	-	-
8	Verlustzeit infolge Unpünktlichkeit	a	3	2	-	1	20	20	2	2	-	1	5	5
		b	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-
9	Mittlere Wartezeit (Ziel)	a	35	35	-	5	0	0	9	9	-	5	0	0
		b	-	-	-	-	-	-	28	-	-	-	-	-
10	Möglicher Zeitgewinn im Fahrzeug (vernachlässigbar)	a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		b	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
I	Gesamtreisezeit $(\sum_1 \Delta t_{i,a})$		660	418	-	243	500	500	174	136	-	83	143	143
II	Gewichtete Gesamtreisezeit $(\sum_1 \Delta t_{i,b})$		-	-	-	486	-	-	298	212	-	106	226	226
III	Zeitwertfaktor $\left(\frac{\sum_1 \Delta t_{i,b}}{\sum_1 \Delta t_{i,a}}\right)$		-	-	-	2	-	-	1,7	1,6	-	1,3	1,6	1,6
IV	Mittlere jährl. Steigerungsrate von II (min.)		-		-		-		9,6		-		0	

Anmerkungen: *) bezüglich der gewichteten Gesamtreisezeit a(b) = ungewichtet, (gewichtet)
**) lt. Kursbuch der Deutschen Bundesbahn, Ausgabe Sommer 1971
+) MW = Mittelwert der Schätzung

Tafel 24: Zielerträge für das Kriterium Komfort/Bequemlichkeit im Schienen- und Straßen-Personenverkehr

Kriterium	Ertrag E-Bahn	Ertrag HSB	Ertrag PKW
Raumtemperatur	B 1)	B	nB 1)
Luftfeuchtigkeit	B	B	B
Luftreinheit	B	B	nB
Luftzug	B	B	B
Frischluftzufuhr	B	B	B
Fahrgeräusch	B	B	nB
Vibration/Erschütterung	B	B	B
Beschleunigung (posit./negativ)	B	B	nB
Sicht/Helligkeit	B	B	B
Sitzplatzverhältnis	100 %	100 %	100 %
Sitzfläche je Passagier	>0,5 m^2	>0,5 m^2	>0,5 m^2
Gepäckraum je Passagier	>0,3 m^3	>0,3 m^3	>0,3 m^3
Arbeitsmöglichkeit	+/- 3)	- 2)	-
Schlafmöglichkeit	+/-	-	-
Spaziermöglichkeit	+ 4)	+	-
Körpergerechte Polstersitze	+	+	+
Modern. Innenraumdesign	+	+	+
Verpflegung im Fahrzeug	+	+	-
Literatur im Fahrzeug	-	-	-
Musik im Fahrzeug	-	-	+
Übersichtlichk.d.Verkehrsanlag.	+	+	+
Geheizter Warteraum	+/-	+	+
Sitzplatzverh. im Warteraum	<100 %	100 %	100 %
Modern. Design d.Verkehrsanlag.	+/-	+	+
Service in den Verkehrsanlagen	+	+	+

1) B (nB) im Bereich (nicht im Bereich) der Behaglichkeitszone (Tafel 3)

2) nicht vorhanden 3) bedingt vorhanden 4) vorhanden

Tafel 25: Preisvergleich zwischen Schienenverkehrsmitteln und dem privaten PKW auf den Strecken München-Hamburg und Köln-Frankfurt

	Beförderungspreise in DM															
Relation	München - Hamburg								Köln - Frankfurt							
Jahr	1968		1971		1980 (opt.)		1980 (pess.)		1968		1971		1980 (opt.)		1980 (pess.)	
Verkehrsmittel																
Eisenbahn 1. Klasse	97 (+8)		114 (+8)		130		156		29,2 (+6)		36 (+6)		46		55	
HSB o.ä. Projekt	-		-		104		130		-		-		36,8		46	
PKW1 *) (1 Person)	168 **)	243 ***)	234	328	346	466	432	583	39,2	56,4	54,4	76,3	80	108	100	136
PKW2 (2 Personen)	84	121,5	117	164	173	233	216	292	19,6	23,2	27,2	38,2	40	54	50	68

	Streckenlänge (km) München - Hamburg	Streckenlänge (km) Köln - Frankfurt
Eisenbahn	820	223
HSB	1000	200
PKW	788	183

Anmerkungen:
*) PKW Typ: BMW 2002 bei einer Fahrleistung von 20.000 km/Jahr
**) Gesamtkosten ohne Abschreibung
***) Gesamtkosten incl. Abschreibung und Verzinsung

Tafel 26: Zusammenstellung der Zielerträge der Attraktivitätskriterien für die Strecken München-Hamburg und Köln-Frankfurt (Ist-Zeitpunkt)

			Zielertrag (Zeitpunkt : $t = t_o = 1971$)							
Relation			München - Hamburg				Köln - Frankfurt			
Verkehrsmittel			CTOL	E.-B.	PKW_1	PKW_2	CTOL	E.-B.	PKW_1	PKW_2
j	Zielkriterium	Maß-einheit								
1	Sicherheit im Verkehrsmittel	Tote u. Verletzte/Pkm	$0,121 \cdot 10^{-8}$	$0,9 \cdot 10^{-8}$	$0,9 \cdot 10^{-6}$	$0,9 \cdot 10^{-6}$	$0,121 \cdot 10^{-8}$	$0,9 \cdot 10^{-8}$	$0,9 \cdot 10^{-6}$	$0,9 \cdot 10^{-6}$
2	Gesamtreisezeit	min.	225	660	500	500	428 *)	298 *)	226 *)	226 *)
3	Raumtemperatur im Verkehrsm.	B/nB **)	B	B	nB	nB	B	B	nB	nB
4	Luftreinheit im Verkehrsm.	"	B	B	nB	nB	B	B	nB	nB
5	Fahrgeräusch im Verkehrsm.	"	B/nB	B	nB	nB	B/nB	B	nB	nB
6	Beschleunigung posit./negat.	"	B/nB	B	nB	nB	B/nB	B	nB	nB
7	Sitzfläche = Sitzbreite x Sitzabstand	m^2	0,45	> 0,5	> 0,5	> 0,5	0,45	> 0,5	> 0,5	> 0,5
8	Gepäckraum je Passagier im Verkehrsmittel	m^3	0,13	> 0,3	> 0,3	> 0,3	0,13	> 0,3	> 0,3	> 0,3
9	Arbeitsmöglichkeit im Verkehrsmittel	+/- ***)	-	+/-	-	-	-	+/-	-	-
10	Schlafmöglichkeit im Verkehrsmittel	"	-	+/-	-	-	-	+/-	-	-
11	Spaziermöglichkeit im Verkehrsmittel	"	-	+	-	-	-	+	-	-
12	Verpflegungsmöglichkeit im Verkehrsmittel	"	+	+	-	-	+	+	-	-
13	Literaturangeb. im Verkehrsmittel	"	+	-	-	-	+	-	-	-
14	Musikangebot im Verkehrsmittel	"	-	-	+	+	-	-	+	+
15	Geheizter Warteraum	"	+	+/-	+	+	+	+/-	+	+
16	Sitzplatzverhältnis im Warteraum	%	100	< 100	100	100	100	< 100	100	100
17	Modernes Design der Verkehrsanlagen	+/-	+	+/-	+	+	+	+/-	+	+
18	Fahrpreis	DM	175	122	234	117	62	42	54,4	27,2

Anmerkungen: *) gewichtet nach Scharlach
**) B (nB) = im Bereich (nicht im Bereich) der Behaglichkeitszone (Tafel 3)
B/nB = zeitweilig in bzw. außerhalb der Behaglichkeitszone
***) +(-) = vorhanden (nicht vorhanden)
+/- = bedingt vorhanden

Tafel 27: Zusammenstellung der Zielerträge der Attraktivitätskriterien für die Strecke München-Hamburg (Prognosezeitpunkt)

			Zielertrag																	
Verkehrsmittel			CTOL-Flugzeug			VSTOL-Flugzeug			Eisenbahn			HSB o.ä. Projekt			PKW 1 Person			PKW 2 Personen		
j	Zielkriterium	Maßeinheit	***) opt.	***) MW	***) pess.	opt.	MW	pess.	opt.	MW	pess.	opt.	MW	pess.	opt.	MW	pess.	opt.	MW	pess.
1	Sicherheit im Verkehrsmittel	Tote + Verl. pro Pkm	$0{,}23 \cdot 10^{-9}$	$0{,}7 \cdot 10^{-9}$	$1{,}17 \cdot 10^{-9}$	$0{,}13 \cdot 10^{-9}$	$0{,}3 \cdot 10^{-9}$	$0{,}47 \cdot 10^{-9}$	$0{,}2 \cdot 10^{-8}$	$0{,}3 \cdot 10^{-8}$	$0{,}4 \cdot 10^{-8}$	$0{,}1 \cdot 10^{-9}$	$0{,}2 \cdot 10^{-9}$	$0{,}3 \cdot 10^{-9}$	$0{,}8 \cdot 10^{-6}$	$0{,}9 \cdot 10^{-6}$	$1{,}0 \cdot 10^{-6}$	$0{,}8 \cdot 10^{-6}$	$0{,}9 \cdot 10^{-6}$	$1{,}0 \cdot 10^{-6}$
2	Gesamtreisezeit	min.	170	203	236	135	150	165	388	418	348	219	243	267	450	500	550	450	500	550
3	Raumtemperatur im Verkehrsmittel	B/nB *)	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	nB	nB	nB	nB	nB	nB
4	Luftreinheit im Verkehrsmittel	"	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	nB	nB	nB	nB	nB	nB
5	Fahrgeräusch im Verkehrsmittel	"	B/nB	B/nB	B/nB	B/nB	B/nB	B/nB	B	B	B	B	B	B	nB	nB	nB	nB	nB	nB
6	Beschleunigung posit./negat. im Verkehrsmitt.	"	B/nB	B/nB	B/nB	B/nB	B/nB	B/nB	B	B	B	B	B	B	nB	nB	nB	nB	nB	nB
7	Sitzfläche = Sitzbreite x Sitzabstand	m^2	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	>0,5	>0,5	>0,5	>0,5	>0,5	>0,5	>0,5	>0,5	>0,5	>0,5	>0,5	>0,5
8	Gepäckraum je Passagier im Verkehrsmittel	m^3	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	>0,3	>0,3	>0,3	>0,3	>0,3	>0,3	>0,3	>0,3	>0,3	>0,3	>0,3	>0,3
9	Arbeitsmöglichkeit im Verkehrsmittel	+/- **)	-	-	-	-	-	-	+/-	+/-	+/-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	Schlafmöglichkeit im Verkehrsmittel	"	-	-	-	-	-	-	+/-	+/-	+/-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	Spaziermöglichkeit im Verkehrsmittel	"	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
12	Verpflegungsmöglichkeit im Verkehrsmittel	"	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
13	Literaturangebot im Verkehrsmittel	"	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	Musikangebot im Verkehrsmittel	"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+
15	Geheizter Warteraum		+	+	+	+	+	+	+/-	+/-	+/-	+	+	+	+	+	+	+	+	+
16	Sitzplatzverhältnis im Warteraum	%	100	100	100	100	100	100	< 100	< 100	< 100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
17	Modernes Design der Verkehrsanlagen	+/-	+	+	+	+	+	+	+/-	+/-	+/-	+	+	+	+	+	+	+	+	+
18	Fahrpreis	DM	175	194	212	201	223	244	130	143	156	104	117	130	346	389	432	173	195	216

Relation: München-Hamburg	Zeitpunkt: $t = t_p = 1980$

Anmerkungen:
*) B (nB) = im Bereich (nicht im Bereich) der Behaglichkeitszone (Tafel 3)
B/nB = zeitweilig in bzw. außerhalb der Behaglichkeitszone
**) + (-) = vorhanden (nicht vorhanden)
***) opt.(pess.) = optimistischer (pessimistischer) Schätzwert
MW = Mittelwert

Tafel 28: Zusammenstellung der Zielerträge der Attraktivitätskriterien für die Strecke Köln-Frankfurt (Prognosezeitpunkt)

j	Zielkriterium	Maßeinheit	CTOL-Flugzeug opt.***)	CTOL-Flugzeug MW***)	CTOL-Flugzeug pess.***)	VSTOL-Flugzeug opt.	VSTOL-Flugzeug MW	VSTOL-Flugzeug pess.	Eisenbahn opt.	Eisenbahn MW	Eisenbahn pess.	HSB o.ä. Projekt opt.	HSB o.ä. Projekt MW	HSB o.ä. Projekt pess.	PKW 1 Person opt.	PKW 1 Person MW	PKW 1 Person pess.	PKW 2 Personen opt.	PKW 2 Personen MW	PKW 2 Personen pess.
1	Sicherheit im Verkehrsmittel	Tote + Verl. pro Pkm	$0{,}23 \cdot 10^{-9}$	$0{,}7 \cdot 10^{-9}$	$1{,}17 \cdot 10^{-9}$	$0{,}13 \cdot 10^{-9}$	$0{,}3 \cdot 10^{-9}$	$0{,}47 \cdot 10^{-9}$	$0{,}2 \cdot 10^{-8}$	$0{,}3 \cdot 10^{-8}$	$0{,}4 \cdot 10^{-8}$	$0{,}1 \cdot 10^{-9}$	$0{,}2 \cdot 10^{-9}$	$0{,}3 \cdot 10^{-9}$	$0{,}8 \cdot 10^{-6}$	$0{,}9 \cdot 10^{-6}$	$1{,}0 \cdot 10^{-6}$	$0{,}8 \cdot 10^{-6}$	$0{,}9 \cdot 10^{-6}$	$1{,}0 \cdot 10^{-6}$
2	Gesamtreisezeit (gewichtet)	min.	234	260	286	148	164	180	178	212	246	95	106	117	203	226	249	203	226	249
3	Raumtemperatur im Verkehrsmittel	B/nB*)	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	nB	nB	nB	nB	nB	nB
4	Luftreinheit im Verkehrsmittel	"	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	nB	nB	nB	nB	nB	nB
5	Fahrgeräusch im Verkehrsmittel	"	B/nB	B/nB	B/nB	B/nB	B/nB	B/nB	B	B	B	B	B	B	nB	nB	nB	nB	nB	nB
6	Beschleunigung posit./negat. im Verkehrsm.	"	B/nB	B/nB	B/nB	B/nB	B/nB	B/nB	B	B	B	B	B	B	nB	nB	nB	nB	nB	nB
7	Sitzfläche = Sitzbreite x Sitzabstand	m^2	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	>0,5	>0,5	>0,5	>0,5	>0,5	>0,5	>0,5	>0,5	>0,5	>0,5	>0,5	>0,5
8	Gepäckraum je Passagier im Verkehrsmittel	m^3	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	>0,3	>0,3	>0,3	>0,3	>0,3	>0,3	>0,3	>0,3	>0,3	>0,3	>0,3	>0,3
9	Arbeitsmöglichkeit im Verkehrsmittel	+/-**)	-	-	-	-	-	-	+/-	+/-	+/-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	Schlafmöglichkeit im Verkehrsmittel	"	-	-	-	-	-	-	+/-	+/-	+/-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	Spaziermöglichkeit im Verkehrsmittel	"	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
12	Verpflegungsmöglichkeit im Verkehrsmittel	"	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
13	Literaturangebot im Verkehrsmittel	"	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	Musikangebot im Verkehrsmittel	"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+
15	Geheizter Warteraum		+	+	+	+	+	+	+/-	+/-	+/-	+	+	+	+	+	+	+	+	+
16	Sitzplatzverhältnis im Warteraum	%	100	100	100	100	100	100	< 100	< 100	< 100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
17	Modernes Design der Verkehrsanlagen	+/-	+	+	+	+	+	+	+/-	+/-	+/-	+	+	+	+	+	+	+	+	+
18	Fahrpreis	DM	71	79	87	82	91	100	46	51	55	37	41	46	80	90	100	40	45	50

Relation: Köln-Frankfurt	Zeitpunkt: $t = t_p = 1980$

Anmerkungen:

*) B (nB) = im Bereich (nicht im Bereich) der Behaglichkeitszone (Tafel 3)
B/nB = zeitweilig in bzw. außerhalb der Behaglichkeitszone
**) + (-) = vorhanden (nicht vorhanden)
***) opt. (pess.) = optimistischer (pessimistischer) Schätzwert
MW = Mittelwert der Schätzung

Tafel 29: Ermittlung der Gewichtungsfaktoren als Funktion des Reisezwecks für die Kriterien der Hierarchiestufe s = 2

		I) DIVO - Umfrage				II) EMNID - Umfrage				III) Mittelwert von I und II			
		Dienstreise		Privatreise		Dienstreise		Privatreise		Dienstreise		Privatreise	
		g_i	Rangfolge	g_i	Rangfolge	g_i	Rangfolge	g_i	Rangfolge	g_i	Rangfolge	g_i	Rangfolge
Attraktivitätskriterien	Billigkeit	3	4	14	4	9	4	8	4	6	4	11	4
	Bequemlichkeit, Komfort	11	3	22	2	16	3	35	2	13,5	3	28,5	2
	Schnelligkeit	48	1	17	3	35	2	14	3	41,5	1	15,5	3
	Sicherheit	38	2	47	1	40	1	43	1	39	2	45	1
		$\sum = 100$		$\sum = 100$		$\sum = 100$		$\sum = 100$		$\sum = 100$		$\sum = 100$	

Tafel 30: Ermittlung der Gewichtungsfaktoren als Funktion des Reisezwecks für die Kriterien der Hierarchiestufe s = 3

Komfort / Bequemlichkeitskriterium	Knotengewicht G_k (%)		Stufengewicht G_s (%) $= g_j$	
	dienstl. (d)	privat (p)	dienstl. (d)	privat (p)
Raumtemperatur im Verkehrsmittel	12	12	1,62	3,42
Luftreinheit im Verkehrsmittel	8	8	1,08	2,28
Fahrgeräusch im Verkehrsmittel	7	7	0,95	2,0
Beschleunigung (posit./negat.) im Verkehrsmittel	7	7	0,95	2,0
Sitzfläche je Passagier im Verkehrsmittel	3	3	0,41	0,85
Gepäckraum je Passagier im Verkehrsmittel	5	10	0,68	2,85
Arbeitsmöglichkeit im Verkehrsmittel	12	1	1,62	0,29
Schlafmöglichkeit im Verkehrsmittel	10	7	1,35	2,0
Spaziermöglichkeit im Verkehrsmittel	4	10	0,54	2,85
Verpflegungsmöglichkeit im Verkehrsmittel	10	8	1,35	2,28
Literaturangebot im Verkehrsmittel	5	5	0,68	1,43
Musikangebot im Verkehrsmittel	3	8	0,41	2,28
Geheizter Warteraum	7	7	0,95	2,0
Sitzplatzverhältnis im Warteraum	4	4	0,54	1,14
Modernes Design der Verkehrsanlagen	3	3	0,41	0,85
$\sum$	100	100	13,5	28,5

Tafel 31: Ermittlung der Distanz der Attraktivitätsprofillinien Strecke: München-Hamburg (Ist-Zeitpunkt)

Strecke: München - Hamburg ($t=t_0=1971$)

Differenz der transformierten Niveauhöhen $\Delta N_j^* = N_{j\,max}^* - N_j^*$

i	Verkehrsmittelalternativen M_i \ Attraktivitätseigenschaften E_j (j)	1 Sicherheit im Verkehrsmittel	2 Gesamtreisezeit	3 Raumtemperatur im Verkehrsmittel	4 Luftreinheit im Verkehrsmittel	5 Fahrgeräusch im Verkehrsmittel	6 Beschleunigung (posit./negat.) im Verkehrsmittel	7 Sitzfläche je Passagier im Verkehrsmittel	8 Gepäckraum je Passagier im Verkehrsmittel	9 Arbeitsmöglichkeit im Verkehrsmittel	10 Schlafmöglichkeit im Verkehrsmittel	11 Spaziermöglichkeit im Verkehrsmittel	12 Verpflegungsmöglichkeit im Verkehrsmittel	13 Literaturangebot im Verkehrsmittel	14 Musikangebot im Verkehrsmittel	15 Geheizter Warteraum	16 Sitzplatzverhältnis im Warteraum	17 Modernes Design der Verkehrsanlagen	18 Fahrpreis	$\sum^{18} g_{j,d} (N_{jmax}^* - N_{i,j}^*)$	Rangfolge	$\sum^{18} g_{j,p} (N_{jmax}^* - N_{i,j}^*)$	Rangfolge
1.	CTOL-Flugzeug	0	0	0	0	5	5	10	10	10	10	10	0	0	10	0	0	0	4,9	0,89	1	1,85	1
2	PKW_1 1 Person	10	6,5	10	10	10	10	0	0	10	10	10	10	10	0	0	0	0	10	8,21	4	8,46	4
3	PKW_2 2 Personen	10	6,5	10	10	10	10	0	0	10	10	10	10	10	0	0	0	0	0	7,61	3	7,36	3
4	TEE, F-D-Zug 1. Kl.	0,1	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	10	10	10	0,5	4,52	2	2,42	2
Gewichtungsfaktor g_j (%)	d**	39	41,5	1,62	1,08	0,95	0,95	0,41	0,68	1,62	1,35	0,54	1,35	0,68	0,41	0,95	0,54	0,41	6				
	p**	45	15,5	3,42	2,28	2,0	2,0	0,85	2,85	0,29	2,0	2,95	2,28	1,43	2,28	2,0	1,14	0,85	11				
maximale transformierte Niveauhöhen $N_{j\,max}^*$	opt. / MW / pess	←								10									→				

Anmerkung: *) opt. (pess.) = optimistischer (pessimistischer) Schätzwert; MW = Mittelwert, bezogen auf die Zielerträge

**) d (p) = dienstlicher (privater) Reisezweck

Tafel 32: Ermittlung der Distanz der Attraktivitätsprofillinien Strecke: Köln-Frankfurt (Ist-Zeitpunkt)

Strecke: Köln - Frankfurt ($t=t_o=1971$)

Differenz der transformierten Niveauhöhen $\triangle N_j^* = N_{j\,max}^* - N_j^*$

i	Verkehrsmittelalternativen M_i	j: Attraktivitätseigenschaften E_j	1 Sicherheit im Verkehrsmittel	2 Gesamtreisezeit	3 Raumtemperatur im Verkehrsmittel	4 Luftreinheit im Verkehrsmittel	5 Fahrgeräusch im Verkehrsmittel	6 Beschleunigung (posit./negat.) im Verkehrsmittel	7 Sitzfläche je Passagier im Verkehrsmittel	8 Gepäckraum je Passagier im Verkehrsmittel	9 Arbeitsmöglichkeit im Verkehrsmittel	10 Schlafmöglichkeit im Verkehrsmittel	11 Spaziermöglichkeit im Verkehrsmittel	12 Verpflegungsmöglichkeit im Verkehrsmittel	13 Literaturangebot im Verkehrsmittel	14 Musikangebot im Verkehrsmittel	15 Geheizter Warteraum	16 Sitzplatzverhältnis im Warteraum	17 Modernes Design der Verkehrsanlagen	18 Fahrpreis	$\sum^{18} g_{j,d}\,(N^*_{jmax} - N^*_{i,j})$	Rangfolge	$\sum^{18} g_{j,p}\,(N^*_{jmax} - N^*_{i,j})$	Rangfolge
1	CTOL-Flugzeug		0	10	0	0	5	5	10	10	10	10	10	0	0	10	0	0	0	10	5,35	3	3,96	2
2	PKW_1 1 Person		10	0	10	10	10	10	0	0	10	10	10	10	10	0	0	0	0	7,7	5,38	4	7,20	4
3	PKW_2 2 Personen		10	0	10	10	10	10	0	0	10	10	10	10	10	0	0	0	0	0	4,91	2	6,35	3
4	TEE, F-D-Zug 1. Kl.		0,1	3,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	10	10	10	4,3	2,05	1	1,85	1
Gewichtungsfaktor g_j (%)		d**	39	41,5	1,62	1,08	0,95	0,95	0,41	0,68	1,62	1,35	0,54	1,35	0,68	0,41	0,95	0,54	0,41	6				
		p**	45	15,5	3,42	2,28	2,0	2,0	0,85	2,85	0,29	2,0	2,85	2,28	1,43	2,28	2,0	1,14	0,85	11				
maximale transformierte Niveauhöhen $N^*_{j\,max}$			←								1							→						

Anmerkung: *) opt. (pess.) = optimistischer (pessimistischer) Schätzwert; MW = Mittelwert, bezogen auf die Zielerträge
**) d (p) = dienstlicher (privater) Reisezweck

Tafel 33: Ermittlung der Distánz der Attraktivitätsprofillinien
Strecke: München-Hamburg (Prognosezeitpunkt)

Strecke: München - Hamburg ($t=t_p=1980$)

Differenz der transformierten Niveauhöhen $\Delta N_j^* = N_{j\,max}^* - N_j^*$

i	Verkehrsmittelalternativen M_i	j / Attraktivitätseigenschaften E_j	1 Sicherheit im Verkehrsmittel	2 Gesamtreisezeit	3 Raumtemperatur im Verkehrsmittel	4 Luftreinheit im Verkehrsmittel	5 Fahrgeräusch im Verkehrsmittel	6 Beschleunigung (posit./negat.) im Verkehrsmittel	7 Sitzfläche je Passagier im Verkehrsmittel	8 Gepäckraum je Passagier im Verkehrsmittel	9 Arbeitsmöglichkeit im Verkehrsmittel	10 Schlafmöglichkeit im Verkehrsmittel	11 Spaziermöglichkeit im Verkehrsmittel	12 Verpflegungsmöglichkeit im Verkehrsmittel	13 Literaturangebot im Verkehrsmittel	14 Musikangebot im Verkehrsmittel	15 Geheizter Warteraum	16 Sitzplatzverhältnis im Warteraum	17 Modernes Design der Verkehrsanlagen	18 Fahrpreis	$\sum g_{j,d}$ ($N^*_{jmax}-N^*_{i,j}$)	Rangfolge	$\sum g_{j,p}$ ($N^*_{jmax}-N^*_{i,j}$)	Rangfolge
1	CTOL-Flugzeug	opt.*)	0	1,1	0	0	5	5	10	10	10	10	10	0	0	10	0	0	0	3	1,23	2	1,81	3
		MW*)	0	1,5	0	0	5	5	10	10	10	10	10	0	0	10	0	0	0	2,9	1,39	2	1,86	3
		pess.*)	0	1,8	0	0	5	5	10	10	10	10	10	0	0	10	0	0	0	2,7	1,51	2	1,89	4
2	V/STOL-Flugzeug	opt.	0	0	0	0	5	5	10	10	10	10	10	0	0	10	0	0	0	4	0,84	1	1,75	2
		MW	0	0	0	0	5	5	10	10	10	10	10	0	0	10	0	0	0	3,9	0,83	1	1,74	2
		pess.	0	0	0	0	5	5	10	10	10	10	10	0	0	10	0	0	0	3,8	0,82	1	1,73	3
3	PKW_1 1 Person	opt.	10	10	10	10	10	10	0	0	10	10	10	10	10	0	0	0	0	10	9,66	6	9,01	6
		MW	10	10	10	10	10	10	0	0	10	10	10	10	10	0	0	0	0	10	9,66	6	9,01	6
		pess.	10	10	10	10	10	10	0	0	10	10	10	10	10	0	0	0	0	10	9,66	6	9,01	6
4	PKW_2 2 Personen	opt.	10	10	10	10	10	10	0	0	10	10	10	10	10	0	0	0	0	2,8	9,23	5	8,21	5
		MW	10	10	10	10	10	10	0	0	10	10	10	10	10	0	0	0	0	2,9	9,24	5	8,22	5
		pess.	10	10	10	10	10	10	0	0	10	10	10	10	10	0	0	0	0	2,9	9,24	5	8,22	5
5	TEE, F-D-Zug 1. Kl.	opt.	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	10	10	10	1	3,68	4	2,12	4
		MW	0	7,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	10	10	10	0,9	3,55	4	2,06	4
		pess.	0	4,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	10	10	10	0,9	2,30	4	1,60	2
6	HSB o.ä.	opt.	0	2,7	0	0	0	0	0	0	10	10	0	0	10	10	0	0	0	0	1,53	3	1,02	1
		MW	0	2,7	0	0	0	0	0	0	10	10	0	0	10	10	0	0	0	0	1,53	3	1,02	1
		pess.	0	2,7	0	0	0	0	0	0	10	10	0	0	10	10	0	0	0	0	1,53	3	1,02	1
Gewichtungsfaktor g_j (%)		d**	39	41,5	1,62	1,08	0,95	0,95	0,41	0,63	1,62	1,35	0,54	1,35	0,65	0,41	0,95	0,54	0,41	6				
		p**	45	15,5	3,42	2,28	2,0	2,0	0,95	2,85	0,29	2,0	2,85	2,28	1,43	2,28	2,0	1,14	0,95	11				
maximale transformierte Niveauhöhen $N_{j\,max}^*$		opt.	←								10									→				
		MW	←								10									→				
		pess.	←								10									→				

Anmerkungen: *) opt. (pess.) = optimistischer (pessimistischer) Schätzwert; MW = Mittelwert, bezogen auf die Zielerträge
**) d (p) = dienstlicher (privater) Reisezweck.

Tafel 34: Ermittlung der Distanz der Attraktivitätsprofillinien
Strecke: Köln-Frankfurt (Prognosezeitpunkt)

Strecke: Köln - Frankfurt ($t=t_p=1980$)

Differenz der transformierten Niveauhöhen $\Delta N_j^* = N_{j\,max}^* - N_j^*$

i	Verkehrsmittelalternativen M_i		j: Attraktivitätseigenschaften E_j	1 Sicherheit im Verkehrsmittel	2 Gesamtreisezeit	3 Raumtemperatur im Verkehrsmittel	4 Luftreinheit im Verkehrsmittel	5 Fahrgeräusch im Verkehrsmittel	6 Beschleunigung (posit./negat.) im Verkehrsmittel	7 Sitzfläche je Passagier im Verkehrsmittel	8 Gepäckraum je Passagier im Verkehrsmittel	9 Arbeitsmöglichkeit im Verkehrsmittel	10 Schlafmöglichkeit im Verkehrsmittel	11 Spaziermöglichkeit im Verkehrsmittel	12 Verpflegungsmöglichkeit im Verkehrsmittel	13 Literaturangebot im Verkehrsmittel	14 Musikangebot im Verkehrsmittel	15 Geheizter Warteraum	16 Sitzplatzverhältnis im Warteraum	17 Modernes Design der Verkehrsanlagen	18 Fahrpreis	$\sum g_{j,d}\,(N_{j\,max}^*-N_{i,j}^*)$	Rangfolge	$\sum g_{j,p}\,(N_{j\,max}^*-N_{i,j}^*)$	Rangfolge
1	CTOL-Flugzeug	opt.*)		0	10	0	0	5	5	10	10	10	10	10	0	0	10	0	0	0	7,5	5,20	4	3,69	4
		MW*)		0	10	0	0	5	5	10	10	10	10	10	0	0	10	0	0	0	7,5	5,20	4	3,69	4
		pess*)		0	10	0	0	5	5	10	10	10	10	10	0	0	10	0	0	0	7,5	5,20	4	3,69	4
2	V/STOL-Flugzeug	opt.		0	3,7	0	0	5	5	10	10	10	10	10	0	0	10	0	0	0	10	2,73	2	2,99	3
		MW		0	3,6	0	0	5	5	10	10	10	10	10	0	0	10	0	0	0	10	2,73	2	2,97	3
		pess.		0	3,7	0	0	5	5	10	10	10	10	10	0	0	10	0	0	0	10	2,73	2	2,99	3
3	PKW_1 1 Person	opt.		10	7,7	10	10	10	10	0	0	10	10	10	10	10	0	0	0	0	9,4	8,67	6	8,58	6
		MW		10	7,7	10	10	10	10	0	0	10	10	10	10	10	0	0	0	0	9,8	8,69	6	9,63	6
		pess.		10	7,8	10	10	10	10	0	0	10	10	10	10	10	0	0	0	0	10	8,75	6	8,66	6
4	PKW_2 2 Personen	opt.		10	7,7	10	10	10	10	0	0	10	10	10	10	10	0	0	0	0	0,6	8,15	5	7,61	5
		MW		10	7,7	10	10	10	10	0	0	10	10	10	10	10	0	0	0	0	0,8	8,16	5	7,64	5
		pess.		10	7,8	10	10	10	10	0	0	10	10	10	10	10	0	0	0	0	0,8	8,20	5	7,65	5
5	TEE, F-D-Zug 1. Kl.	opt.		0	5,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	10	10	10	2	2,87	3	1,90	2
		MW		0	6,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	10	10	10	2	3,25	3	2,15	2
		pess.		0	7,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	10	10	10	1,7	3,56	3	2,14	2
6	HSB o.ä.	opt.		0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	0	0	10	10	0	0	0	0	0,41	1	0,60	1
		MW		0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	0	0	10	10	0	0	0	0	0,41	1	0,60	1
		pess.		0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	0	0	10	10	0	0	0	0	0,41	1	0,60	1
Gewichtungsfaktor g_j (%)			d**	39	41,5	1,62	1,08	0,95	0,95	0,41	0,68	1,62	1,35	0,54	1,35	0,68	0,41	0,95	0,54	0,41	6				
			p**	45	15,5	3,42	2,28	2,0	2,0	0,85	2,85	0,29	2,0	2,85	2,28	1,43	2,28	2,0	1,14	0,85	11				
maximale transformierte Niveauhöhen $N_{j\,max}^*$			opt.	←								10									→				
			MW	←								10									→				
			pess	←								10									→				

Anmerkungen: *) opt. (pess.) = optimistischer (pessimistischer) Schätzwert; MW = Mittelwert, bezogen auf die Zielerträge
**) d (p) = dienstlicher (privater) Reisezweck

Tafel 35: Aufstellung verschiedener Kombinationen von Gewichtungsfaktoren zur Simulation der Transportattraktivität

Kombinationen der Gewichtungsfaktoren	Zielkriterien			
	Sicherheit (30 - 50 %)	Schnelligkeit (30 - 50 %)	Bequemlichkeit (10 - 30 %)	Preis (10 - 30 %)
a	0,3	0,3	0,3 (0,02)*)	0,1
b	0,3	0,3	0,1 (0,0067)*)	0,3
c	0,3	0,3	0,2 (0,0133)*)	0,2
d	0,4	0,3	0,2 (0,0133)*)	0,1
e	0,4	0,3	0,1 (0,0067)*)	0,2
f	0,4	0,4	0,1 (0,0067)*)	0,1
g	0,5	0,3	0,1 (0,0067)*)	0,1
h	0,3	0,5	0,1 (0,0067)*)	0,1
i	0,3	0,4	0,2 (0,0133)*)	0,1

Anmerkung: *) = mittlerer Gewichtungsfaktor der 15 Bequemlichkeitskriterien

Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen

Herausgegeben im Auftrage des Ministerpräsidenten Heinz Kühn
vom Minister für Wissenschaft und Forschung Johannes Rau

Sachgruppenverzeichnis

Acetylen · Schweißtechnik
Acetylene · Welding gracitice
Acétylène · Technique du soudage
Acetileno · Técnica de la soldadura
Ацетилен и техника сварки

Arbeitswissenschaft
Labor science
Science du travail
Trabajo científico
Вопросы трудового процесса

Bau · Steine · Erden
Constructure · Construction material · Soilresearch
Construction · Matériaux de construction · Recherche souterraine
La construcción · Materiales de construcción · Reconocimiento del suelo
Строительство и строительные материалы

Bergbau
Mining
Exploitation des mines
Minería
Горное дело

Biologie
Biology
Biologie
Biologia
Биология

Chemie
Chemistry
Chimie
Quimica
Химия

Druck · Farbe · Papier · Photographie
Printing · Color · Paper · Photography
Imprimerie · Couleur · Papier · Photographie
Artes gráficas · Color · Papel · Fotografía
Типография · Краски · Бумага · Фотография

Eisenverarbeitende Industrie
Metal working industry
Industrie du fer
Industria del hierro
Металлообработывающая промышленность

Elektrotechnik · Optik
Electrotechnology · Optics
Electrotechnique · Optique
Electrotécnica · Optica
Электротехника и оптика

Energiewirtschaft
Power economy
Energie
Energía
Энергетическое хозяйство

Fahrzeugbau · Gasmotoren
Vehicle construction · Engines
Construction de véhicules · Moteurs
Construcción de vehículos · Motores
Производство транспортных средств

Fertigung
Fabrication
Fabrication
Fabricación
Производство

Funktechnik · Astronomie
Radio engineering · Astronomy
Radiotechnique · Astronomie
Radiotécnica · Astronomía
Радиотехника и астрономия

Gaswirtschaft

Gas economy
Gaz
Gas
Газовое хозяйство

Holzbearbeitung

Wood working
Travail du bois
Trabajo de la madera
Деревообработка

Hüttenwesen · Werkstoffkunde

Metallurgy · Materials research
Métallurgie · Matériaux
Metalurgia · Materiales
Металлургия и материаловедение

Kunststoffe

Plastics
Plastiques
Plásticos
Пластмассы

Luftfahrt · Flugwissenschaft

Aeronautics · Aviation
Aéronautique · Aviation
Aeronáutica · Aviación
Авиация

Luftreinhaltung

Air-cleaning
Purification de l'air
Purificación del aire
Очищение воздуха

Maschinenbau

Machinery
Construction mécanique
Construcción de máquinas
Машиностроительство

Mathematik

Mathematics
Mathématiques
Matemáticas
Математика

Medizin · Pharmakologie

Medicine · Pharmacology
Médecine · Pharmacologie
Medicina · Farmacología
Медицина и фармакология

NE-Metalle

Non-ferrous metal
Metal non ferreux
Metal no ferroso
Цветные металлы

Physik

Physics
Physique
Física
Физика

Rationalisierung

Rationalizing
Rationalisation
Racionalización
Рационализация

Schall · Ultraschall

Sound · Ultrasonics
Son · Ultra-son
Sonido · Ultrasónico
Звук и ультразвук

Schiffahrt

Navigation
Navigation
Navegación
Судоходство

Textilforschung

Textile research
Textiles
Textil
Вопросы текстильной промышленности

Turbinen

Turbines
Turbines
Turbinas
Турбины

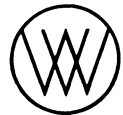
Verkehr

Traffic
Trafic
Tráfico
Транспорт

Wirtschaftswissenschaften

Political economy
Economie politique
Ciencias economicas
Экономические науки

Einzelverzeichnis der Sachgruppen bitte anfordern



Westdeutscher Verlag GmbH
– Auslieferung Opladen –
567 Opladen, Postfach 1620